



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

RIA SIIK
PROSESSI HALLIRAKENNUKSEN KANTAVAN RUNGON TIETO-
MALLIPOHJASEEN KUSTANNUSLASKENTAAN LUONNOSVAI-
HEESSA

Diplomityö

Tarkastaja: Jukka Pekkanen
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
koulutusvaradekaanin päätöksellä
25. syyskuuta 2017

TIIVISTELMÄ

RIA SIIK: Prosessi hallirakennuksen kantavan rungon tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan luonnosvaiheessa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 100 sivua, 45 liitesivua

Marraskuu 2017

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastaja: TUT Industry Professor Jukka Pekkanen

Avainsanat: BIM, luonnosvaihe, kustannusarvio, kustannuslaskenta, kustannuslaskentaprosessi, määrälaskenta, tietomalli, tietomallintaminen, 5D-tietomalli

Tietomallien hyödyntämiskeinoja sovelletaan koko ajan enemmän teknologian kehittyessä ja digitalisaation yleistyessä. Tietomallipohjaista kustannuslaskentaa toteutetaan jossain määrin, mutta luonnosvaiheen sovellutukset ovat vielä kehittymässä. Diplomityön tavoitteena oli luoda prosessi tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan luonnosvaiheessa sekä vastata aiheeseen liittyviin tutkimuskysymyksiin. Tärkeimpänä oli tutustua kustannuslaskentaprosessiin ja sen mahdollisiin kompastuskiviin, sekä rakennuksen kustannusten muodostumiseen ja vaikutusmahdollisuuksiin luonnosvaiheessa.

Työ toteutettiin kirjallisuustutkimuksena ja käytännön tutkimuksena jatkona aikaisemmin toteutettuun kandidaatintyöhön. Kirjallisuuskatsauksessa tutustuttiin luonnosvaiheen suunnittelun, tietomallien, määrä- ja kustannuslaskennan sekä tietomallipohjaisen kustannuslaskennan perusteisiin. Tietomallit ovat tärkeä osa nykyaikaista rakennusala ja kustannukset ovat puolestaan tärkein yksittäinen rakentamiseen vaikuttava tekijä. Työn käytännön tutkimuksessa pyrittiin tutustumaan tietomallipohjaisen kustannuslaskentaprosessin vaiheisiin toteuttamalla hallirakennuksen kolmelle eri runkovaihtoehdolle alustava rakennesuunnittelu, mallintaminen, määrälaskenta-aineiston tuottaminen ja kustannuslaskenta. Mallintaminen toteutettiin Tekla Structures 21 -ohjelmistolla ja määrälaskenta natiivimallista tuotettujen tietojen perusteella taulukkopohjaisesti. Kustannuslaskennan toteutti määrälaskenta-aineiston perusteella Pohjola Rakennus Oy Häme.

Case-tutkimuksessa selvisi, että hallirakennuksessa kantavan rungon osuus kokonaiskustannuksista on merkittävä, joten suunnitteluun on järkevää panostaa suunnittelun alkuvaiheissa. Tehokkain hallirakennuksen runko voisi muodostua usean materiaalin yhdistelmänä. Rakenneosalaskenta ei sovellu kaikenlaisiin hankkeisiin, mutta eri runkovaihtoehtojen tarkastelussa menetelmä on toimiva. Tutkimuksen perusteella kustannuslaskentaprosessia voidaan tehostaa tietomallipohjaisella määrälaskennalla merkittävästi. Kaikkea määrälaskentaa ei voida, eikä kannata korvata tietomallipohjaisella toiminnalla, mutta iso osa määrätiedosta voidaan helposti ja visuaalisesti tuottaa tietomallien avulla. Kustannuslaskentaa voidaan toteuttaa hyvin taulukkopohjaisena ilman erillistä kustannuslaskentaohjelmistoa. Rakenneosien luonnosvaiheen suunnittelussa, mallintamisessa ja luetteloinnissa on kehitettävää, mutta tarpeellinen tieto on mahdollista saada jo nyt selville. Määrälaskennan tarpeet suunnittelun ja mallintamisen suhteen tulee selvittää hankekohtaisesti, jotta työskentely on mahdollisimman tehokasta.

ABSTRACT

RIA SIUK: The process of BIM-based preliminary cost estimation for a hall building frame structure

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 100 pages, 45 Appendix pages

November 2017

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Structural Engineering

Examiner: TUT Industry Professor Jukka Pekkanen

Keywords: BIM, building information modeling, cost estimating, the preliminary design phase, quantity take-off, cost estimating process, 5D-model

The utilization of building information models is rapidly increasing as technology and digitalization become more widespread. BIM-based cost estimating is implemented to some extent but applications in the preliminary design phase are still in development. The main objective of this master's thesis was to create a process for BIM-based preliminary cost estimation and answer research questions regarding the topic. The aim was to target stumbling blocks in the process, understand the cost distribution of a building project and find possibilities to influence costs in the preliminary design phase.

The thesis was executed as a literary research and a hands-on experiment as a further study to a bachelor's thesis that was carried out earlier. The literary research encompassed the preliminary design phase, BIM, quantity take-off, cost estimating and BIM-based cost estimating. BIM is a crucial part of modern civil engineering and financing is the driving force influencing construction. In the hands-on experiment, the aim was to explore the process of BIM-based cost estimating by carrying out preliminary design, modeling, quantity take-off and cost estimation for three different variations of frame structures for a hall building. The modeling was done using Tekla Structures 21 -software. Quantity take-off was executed using charts printed from the native BIM-model. The cost estimation was carried out by Pohjola Rakennus Oy Häme.

The research pointed out that the cost portion of the frame in a hall building is significant which justifies the investment of resources in the preliminary design phase. The most efficient hall frame structure could be the combination of several materials. Unit price estimating is not compatible for all projects but is a functioning method to comparing different bearing structures. According to the research the cost estimating process can be made significantly more efficient with BIM-based quantity take-off. It is not necessary to execute all quantity take-off with BIM-based methods but a vast part can be easily and visually produced with BIM. Cost estimating can be done with charts and without using a separate cost estimating software. There is much development to be done in preliminary design, modeling and listing of structural elements but utilizing information with existing tools. The necessities for quantity take-off in design and modeling should be concluded separately for differing projects to make the process as efficient as possible.

ALKUSANAT

Diplomityö tehtiin osana rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkintoa Rakennustekniikan laboratoriolle Tampereen teknilliseen yliopistoon (TTY). Työ tehtiin Ramboll Finland Oy:n ja Pohjola Rakennus Oy Hämeen yhteistyönä vuoden 2017 aikana. Ramboll Finland Oy:n edustajana toimi Ilkka Toppila ja Pohjola Rakennus Oy Hämeen edustajana Lauri Piironen. TTY:n puolesta työn virallisena tarkastajana toimi TUT Industry Professor Jukka Pekkanen.

Haluan kiittää kaikkia työkavereitani, mutta erityisesti Inari Weijoa ja työni ohjaajaa Ilkka Toppilaa, jotka pitivät minut pinnalla työn teon vaikeinakin hetkinä. Iso kiitos Pohjola Rakennus Oy Hämeelle ja Lauri Piironiselle hyvästä yhteistyöstä ja ymmärryksestä. Kiitos myös työn tarkastajalle Jukka Pekkaselle kannustuksesta ja Tampereen teknillisen yliopiston tukisäätiölle työn mahdollistamisesta.

Diplomityön valmistumisen myötä on aika jättää myös haikein mielin teekkarielämä taakse. Odotan innolla tulevaa, mutta tulen varmasti kaipaamaan näitä elämän kulkua muuttaneita yliopistovuosia. Kiitos kaikille opiskelukavereille ikimuistoisista hetkistä.

Kiitos myös vanhemmilleni, veljilleni ja muille läheisille tuesta. Isoin kiitos kuuluu kuitenkin rakkaalle avomiehelleni Juuso Perkkalaiselle, joka on omasta rankasta diplomityöurakastaan huolimatta jaksanut tukea ja kannustaa minua diplomityön teossa. Ilman sinua ei olisi tämä työ tai tutkinto tullut valmiiksi.

Tampereella, 13.11.2017

Ria Siik

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	2
1.3	Tutkimuksen rajaukset	2
1.4	Tutkimuksen suoritus ja työn rakenne	3
2.	LUONNOSVAIHEEN TIETOMALLIPOHJAISEN KUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖKOHDAT	4
2.1	Luonnosvaiheen suunnittelu.....	4
2.1.1	Yleistä luonnosvaiheesta	4
2.1.2	Luonnosvaihe suunnittelussa ja kustannuslaskennassa.....	5
2.2	Tietomallinnus.....	6
2.2.1	Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi.....	7
2.2.2	Rakennushankkeen aikana käytettävät tietomallit	11
2.2.3	Tietomallien avulla tehtävät analyysit	14
2.2.4	Tietomallivaatimukset yleisesti ja luonnosvaiheessa.....	18
2.3	Määrä- ja kustannuslaskenta	22
2.3.1	Rakennuksen hinnan muodostuminen	23
2.3.2	Kustannuslaskentamenetelmät hankkeen eri vaiheissa	25
2.3.3	Nimikkeistöt.....	28
2.3.4	Kustannusarvioon tähtäävä määrälaskenta	36
2.4	Tietomallipohjainen kustannuslaskenta	41
2.4.1	Tietomallipohjainen kustannuslaskentaprosessi	41
2.4.2	Mallinnuksen tarkkuustaso	44
2.4.3	Tietosisällön vaatimukset.....	46
2.4.4	Tietomallipohjaisen kustannuslaskennan hyödyt ja haasteet.....	50
3.	CASE: HALLIRAKENNUSTEN RUNKOVERTAILUT	53
3.1	Rakennuksen lähtötiedot	53
3.2	Suunnitteluperusteet	54
3.2.1	Betonirakenteet	55
3.2.2	Liimapuurakenteet	56
3.2.3	Teräs- ja liittorakenteet	56
3.3	Alustava rakennesuunnittelu	57
3.3.1	Kuormat	57
3.3.2	Rakennemallit	58
3.3.3	Valitut poikkileikkaukset ja materiaalit	60
3.3.4	Huomioitavaa laskennasta.....	60
3.4	Tietomallinnus.....	61
3.4.1	Mallinnustarkkuus ja mallinnustyökalut	61
3.4.2	Nimeäminen ja numerointi.....	69
3.4.3	Huomioitavaa mallintamisesta	71

3.5	Määrälaskenta.....	72
3.5.1	Määrälaskennan periaatteet.....	72
3.5.2	Määräluettelopohjien luonti.....	73
3.5.3	Määräluetteloiden tulostus.....	75
3.5.4	Huomioitavaa määrälaskennasta.....	81
3.6	Kustannustieto.....	83
3.7	Kustannuslaskenta.....	86
3.7.1	Rungon kustannukset.....	87
3.7.2	Rakennuksen muut kustannukset.....	90
3.8	Tulokset.....	91
3.9	Pohdinnat ja johtopäätökset.....	92
3.9.1	Kustannukset.....	92
3.9.2	Määrälaskentaprosessi.....	93
4.	PROSESSI.....	95
5.	YHTEENVETO.....	96
5.1	Loppupäätelmät.....	96
5.2	Keskustelu.....	97
5.3	Jatkotutkimusmahdollisuuksia.....	97
	LÄHTEET.....	98
	LIITTEET.....	101
	LIITE 1: RAK-, ARK- ja TATE-tietomallit (YTV2012, osa 1).....	101
	LIITE 2: Rakentamisosanimikkeistö (RO) (Talo 80).....	102
	LIITE 3: Suoritusnimikkeistö (SUO) (Talo 80).....	103
	LIITE 4: Tietomallien sisältövaatimus nimikkeittäin (YTV2012, osa 7).....	104
	LIITE 5: Hankintoja palveleva suunnittelu (YTV2012, osa 5).....	108
	LIITE 6: Rakennuksen pohjapiirustus.....	112
	LIITE 7: Rakennuksen leikkaus lyhyessä suunnassa.....	113
	LIITE 8: Rakennuksen leikkaus pitkässä suunnassa.....	114
	LIITE 9: Rakennetyypit.....	115
	LIITE 10: Valitut rakenteet ja laskentametodit.....	132
	LIITE 11: Määräluetteloesimerkkejä.....	135
	LIITE 12: Prosessikaaviot.....	138

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1.</i>	<i>Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224 2016).....</i>	<i>4</i>
<i>Kuva 2.</i>	<i>Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa. (RT 10-11226 2016).....</i>	<i>5</i>
<i>Kuva 3.</i>	<i>CAD-piirtämisen ja tietomallipohjaisen työskentelyn vertailu. (Penttilä et al. 2006).....</i>	<i>8</i>
<i>Kuva 4.</i>	<i>Esimerkki tietomallien ja hankevaiheiden sijoittumisesta keskenään. (2004)</i>	<i>9</i>
<i>Kuva 5.</i>	<i>Tietomallin kehittyminen rakennushankkeessa. (Penttilä et al. 2006, s. 28).....</i>	<i>10</i>
<i>Kuva 6.</i>	<i>Analyysin rooli suunnittelutyössä. (Hietanen 2005)</i>	<i>15</i>
<i>Kuva 7.</i>	<i>Virheenetsintä. (Hietanen 2005)</i>	<i>16</i>
<i>Kuva 8.</i>	<i>Tietomallin vaikutus analyysien luotettavuuteen. (Hietanen 2005).....</i>	<i>17</i>
<i>Kuva 9.</i>	<i>Tietomalleihin perustuvan rajapinnan vaikutus analyysin luotettavuuteen. (Hietanen 2005).....</i>	<i>17</i>
<i>Kuva 10.</i>	<i>Rakennuksen elinkaarikustannusten jakautuminen. (2004)</i>	<i>23</i>
<i>Kuva 11.</i>	<i>Kustannusten muodostuminen. (Kivistö 2015).....</i>	<i>24</i>
<i>Kuva 12.</i>	<i>Pilarianturan jaottelu suoritteisiin ja edelleen panoksiin. (Teittinen 2009).....</i>	<i>24</i>
<i>Kuva 13.</i>	<i>Kustannuslaskentaprosessi yksinkertaistettuna. (Cheung et al. 2012)</i>	<i>25</i>
<i>Kuva 14.</i>	<i>Kustannuslaskenta hankkeen eri vaiheissa. (RT 10-11226 2016).....</i>	<i>26</i>
<i>Kuva 15.</i>	<i>Määrälaskennan hyödyntäminen hankkeessa. (BuildingSMART Finland 2012c).....</i>	<i>41</i>
<i>Kuva 16.</i>	<i>Määrälaskentaprosessi. (BuildingSMART Finland 2012c)</i>	<i>42</i>
<i>Kuva 17.</i>	<i>Kustannusarvio eri vaiheissa hanketta. (Sabol 2008).....</i>	<i>45</i>
<i>Kuva 18.</i>	<i>Ulkoseinärakenne.....</i>	<i>55</i>
<i>Kuva 19.</i>	<i>Pultin tietojen syöttäminen mutterille liittöstyökalun yhteydessä.</i>	<i>63</i>
<i>Kuva 20.</i>	<i>Comment-kenttä.</i>	<i>64</i>
<i>Kuva 21.</i>	<i>Puupalkkien konsoliliitokset.....</i>	<i>65</i>
<i>Kuva 22.</i>	<i>Puupilarin perustusliitos.</i>	<i>65</i>
<i>Kuva 23.</i>	<i>Valmis tietomalli.</i>	<i>69</i>
<i>Kuva 24.</i>	<i>Organizerin käyttöliittymä.</i>	<i>73</i>
<i>Kuva 25.</i>	<i>Luettelopohjan muokkaus.....</i>	<i>74</i>
<i>Kuva 26.</i>	<i>Itse luotu Property jatkuvien anturoiden pituudelle.</i>	<i>74</i>
<i>Kuva 27.</i>	<i>Esimerkki osien suodattamisesta Teklan näkymäsuodattimen avulla.....</i>	<i>76</i>
<i>Kuva 28.</i>	<i>Näkymän Display-asetukset, kun luodaan rakennekoonpanoluetteloita.</i>	<i>77</i>
<i>Kuva 29.</i>	<i>Elementtiluettelon valinta-asetukset.</i>	<i>77</i>
<i>Kuva 30.</i>	<i>Osan 3D-näkymä.....</i>	<i>78</i>
<i>Kuva 31.</i>	<i>Osaluetteloiden valinta-asetukset.</i>	<i>78</i>
<i>Kuva 32.</i>	<i>Teräsosien valinta-asetukset.</i>	<i>79</i>

<i>Kuva 33.</i>	<i>Teräsosilla käytettävä vanha luettelopohja.....</i>	<i>79</i>
<i>Kuva 34.</i>	<i>Kustannuslaskijalle toimitettu määrälaskenta-aineisto.</i>	<i>80</i>
<i>Kuva 35.</i>	<i>Muottipinnan laskentakaava jatkuvilla anturoilla.</i>	<i>82</i>
<i>Kuva 36.</i>	<i>Kustannusten jakautuminen pääryhmittäin.....</i>	<i>87</i>
<i>Kuva 37.</i>	<i>Rungon ja muiden kustannusten jakautuminen eri runkovaihtoehdoilla.</i>	<i>87</i>
<i>Kuva 38.</i>	<i>Kustannusten jakautuminen pääryhmän 2 sisällä.....</i>	<i>88</i>
<i>Kuva 39.</i>	<i>Kustannusten jakautuminen pääryhmän 3 sisällä.....</i>	<i>88</i>
<i>Kuva 40.</i>	<i>Kantavan rungon osuus kaikista kustannuksista ilman perustuksia.</i>	<i>90</i>
<i>Kuva 41.</i>	<i>Kantavan rungon osuus kaikista kustannuksista perustuksien kanssa (*myös portaiden, VSS:n, muurien ja sandwich-sokkeleiden perustukset).</i>	<i>90</i>

KÄSITTEET

assembly	Osakokoonpano, eli osien (pääosa, valutarvikkeet, raudoitteet, yms.) muodostama kokonaisuus tietomallissa
BIM	Building Information Model, rakennuksen tietomalli
BEC 2012	Betonielementtien kehitykseen keskittynyt tutkimushanke, jonka on toteuttanut yhdessä betonielementtiteollisuus, rakennesuunnittelijat ja Tekla Oyj (Trimble)
CAD	Computer-Aided Design eli tietokoneavusteinen suunnittelu
class	Luokka (numero), jonka perusteella osat jaotellaan Tekla Structures -ohjelmassa. Luokka määrää muun muassa osan väriyksen tietomallissa ja piirtoasetukset.
IFC	Industry Foundation Classes, kansainvälinen tiedonsiirtostandardi tuotetietojen tiedonsiirtoon rakennus- ja kiinteistöalalla
makro (tai macro)	Ohjelman sisäinen ohjelma, joka toteuttaa jonkin halutun prosessin
Organizer	Tekla Structures -ohjelman luetteloiden luontityökalu
prefix	Tunnus, jonka perusteella elementit ja osat jaotellaan Tekla Structures -ohjelmassa
property	Elementin tai osan ominaisuus, joka voidaan hakea luetteloon Teklan Organizerissa
start number	Numerointisarja, jonka perusteella elementtien numerointi (esim. piirustusnumero) määräytyy Tekla Structures -ohjelmassa
Tekla Structures	Trimble Oy:n tietomallinnusohjelmisto, esiintyy tekstissä lyhyesti vain nimellä Tekla
YTV2012	Yleiset tietomallivaatimukset 2012. COBIM-hankkeessa syntyneet tietomalliohjeistukset, jotka julkaistiin vuonna 2007 Senaatti-kiinteistöjen toimesta
4D	Kun 3D-tietomallin olioihin lisätään aikaulottuvuus eli sitä, kun tietomalli sisältää myös esimerkiksi asennusaikataulun
5D	Kun 3D-tietomallin olioihin lisätään kustannusulottuvuus eli sitä, kun tietomalli sisältää myös kustannuksia

1. JOHDANTO

Tietomallien asema rakennusalaalla on nykypäivänä vankkumaton. Tietomallien käyttöönotto on muuttanut ja tehostanut suunnittelun ja tuotannon prosesseja sekä parantanut rakentamisen laatua. Tietomallien hyödyntämismahdollisuudet ovat laajat ja osaa näistä hyödyntämismahdollisuuksista opetellaan ja tutkitaan vasta.

1.1 Tausta

Tietomallien hyödyntäminen rakennusalaalla on merkittävästi lisääntynyt vuosikymmenten saatossa, mutta tietomallipohjainen kustannuslaskenta on vielä yleistymässä. Edistymistä hidastavat muun muassa rakennusyritysten kustannusjärjestelmien päivitystarve ja päivitykseen käytettävän työmäärän laajuus. Parhaiten tietomallipohjaiseen määrä- ja kustannuslaskentaan soveltuvan Talo 2000-nimikkeistön käyttöönotto on myös tästä syystä ollut hidasta ja Talo 80-nimikkeistö on edelleen vahvasti käytössä kustannuslaskennassa. Tietomalliosaaminen kasvaa jatkuvasti ja tietomallinnusta kehitetään, mutta yhtenäisiä ja toimivia toimintatapoja erityisesti kustannuslaskennan osalta ei ole vielä iskostettu rakennusalaan.

Diplomityö toimi jatkotutkimuksena vuonna 2015 Ria Siikin tekemään kandidaatintyöhön *Esiselvitys luonnosvaiheen tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan*. Kandidaatin työssä todettiin, että tietomallipohjaista kustannuslaskentaa ei vielä toteuteta kovin laajasti, vaan perinteiset laskentamenetelmät pitävät vahvaa asemaansa. Kustannusymmärrys rakennushankkeen eri osapuolilla on vaihtelevaa ja laskentaa tulisikin tehdä enemmän hankkeen eri osapuolten yhteistyönä. Työn perusteella todettiin, että luonnosvaiheen tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan kantavan rungon osalta voisi soveltua parhaiten alustavasta rakennusosamallista tehtävä taulukkopohjainen laskenta. Kustannuslaskennan kehittyessä enemmän automatisoiduksi, kustannuslaskijan asiantuntevuus ja ammatitaito nousevat selkeästi korkeampaan asemaan laskennan kattavuuden ja laadun varmistamisessa.

Luonnosvaiheen kustannuslaskenta on haastava vaihe hankkeen kustannuslaskennassa, mutta on yksi tärkeimmistä hetkistä hankkeen kustannusraamien määrittämisessä. Luonnosvaiheessa tehty kustannusarvio määrittää usein lähtökohdan kustannuksille ja toimii eräänlaisena budjettina ja vertailukohtana koko hankkeen ajan. Tästä syystä tutkimusaihe koetaan tärkeäksi. Tietomallipohjaista kustannuslaskentaa voidaan toteuttaa vielä varhaisemmassakin vaiheessa, mikäli se tuottaa lisäarvoa hankkeelle. Tietomallin käyttöönottohetkeen vaikuttaa usein myös urakkamuoto.

Diplomityö tehtiin yhteistyönä Pohjola Rakennus Oy Hämeen ja Ramboll Finland Oy:n kanssa.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on luoda prosessi tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan luonnosvaiheessa ja tutkia tarkemmin hallirakennuksen kantavan rungon kustannuslaskentaa. Samaa prosessia voidaan luonnollisesti hyödyntää myös muun tyyppisissä hankkeissa ja muissakin vaiheissa rakennushanketta. Prosessin avulla luonnosvaiheen tietomallipohjaiselle kustannuslaskennalle saadaan ohjeistuksia ja työkaluja, joita voidaan jatkokehittää vastaamaan kustannuslaskennan vaatimuksia. Tietomallipohjaisen kustannuslaskennan avulla hinnoittelun ja hintadatan kerääminen helpottuu. Case-esimerkin avulla saadaan yksi esimerkki siitä, kuinka hallirakennuksen määriin päästään käsiksi ja kustannusarviolle saadaan tarkempaa, määrätietoon perustuvaa pohjaa. Luonnosvaiheen tietomallipohjainen kustannuslaskenta soveltuu erityisesti eri runkovaihtoehtojen hintavertailuun ja päätöksenteon tueksi.

Työssä pyritään prosessin muodostamisen lisäksi vastaamaan muun muassa seuraaviin kysymyksiin:

- Mitkä ovat rungon kustannukset suhteessa koko hankkeen rakentamiskustannuksiin?
- Mikä vaikuttaa kustannuksiin oleellisesti...
 - o ...rungon osalta?
 - o ...koko hankkeen osalta?
- Missä tapahtuu eniten virhearvioita?
- Mitkä ovat tietomallintamalla muodostetun määrälaskennan haasteita?

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Työ rajataan koskemaan ainoastaan hallirakennuksen kantavaa runkoa ja hankkeen vaiheista luonnosvaihetta. Hallirakennuksen suunnittelussa rakennesuunnittelija on tyypillisesti mukana vaihtoehtojen tarkastelussa heti hanketta aloittaessa, koska rakenteiden suunnittelu on haastavampaa ja runkovalinnalla voi olla suurempia kustannusvaikutuksia. Asuinkerrostalokohteissa alustava rakennesuunnittelu tehdään usein arkkitehdin suunnitelmien perusteella, mutta näissä tapauksissa kantavan rungon vaihtoehdot ovat rajattomia ja yksioikoisempia. Työssä lähdetään siitä oletuksesta, että eri runkovaihtoehtoja on järkevää tarkastella ja tarkastelun tekee rakennesuunnittelija.

Työssä kantavan rungon määrätieto kustannuslaskentaan tuotetaan lähtökohtaisesti käyttäen rakennesuunnittelijan tietomallinnusohjelmistoa ja ohjelmasta tulostettavia taulukoita. Työssä suunnitteluohjelmistona toimii Tekla Structures 21-tietomallinnusohjel-

misto (lyhyesti myöhemmin Tekla), josta tuotetaan taulukkotietoa Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Määrätieto on tarkoitus tuottaa suoraan Teklan alkuperäisformaattissa olevasta mallista eli natiivimallista. IFC-formaatissa (Industry Foundation Classes) olevan mallin tietosisältöä ei lähtökohtaisesti tutkita tässä työssä, mutta IFC-malli tuotetaan visuaaliseksi työkaluksi määrälaskenta-aineiston tueksi. Työssä mallinnetaan pääasiassa rakennesuunnittelijan määrittämiä rakenteita, joten kustannuslaskenta rungon osalta tehdään rakennusosa-arviolla. Rakennuksen muita osia lasketaan tarvittaessa muilla kustannuslaskentamenetelmillä. Määrälaskenta-aineiston tueksi tuotetaan muita tarvittavia suunnitteludokumentteja, kuten rakennetyypit.

1.4 Tutkimuksen suoritus ja työn rakenne

Työn pääasiallinen toteutusmuoto on käytännön tutkimus case-tapauksen kautta, jossa kolmesta eri päärakennusaineesta suunnitellulle hallirakennuksen rungolle toteutetaan alustava rakennesuunnittelu, mallinnus ja tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta. Työ toteutetaan tekemällä käytännön tutkimus ensin ja kokoamalla teoreettinen tausta vasta tämän jälkeen. Käytännön tutkimuksessa työn kirjoittaja toimii itse toiminnan tekijänä. Kirjallisuustutkimus on toteutettu tutkimalla alan kirjallisuutta ja julkaisuja. Kustannuslaskenta ja tietomallinnus ovat paljon tutkittuja aiheita, joten materiaalia on helposti saatavilla.

Työ koostuu kirjallisuustutkimuksesta, käytännön tutkimuksesta, prosessin määrittämisestä ja pohdinnoista. Luvussa 2 käydään läpi luonnosvaiheen tietomallipohjaisen kustannuslaskennan kannalta tärkeitä aiheita. Luvussa 3 toteutetaan käytännön tutkimus, jossa hallirakennuksen kantava runko määritetään kolmella eri päärakennusmateriaalilla ja vertaillaan näiden runkojen kustannuksia. Luvussa 4 määritetään prosessi hallirakennuksen tietomallipohjaiselle kustannuslaskennalle. Luvussa 5 pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin, pohditaan tutkimuksen toteutusta ja annetaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

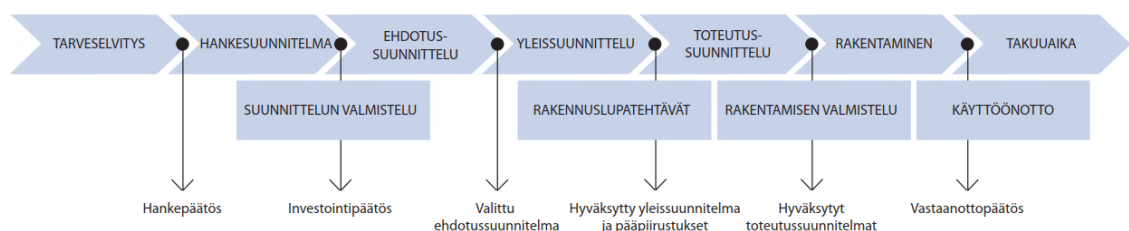
2. LUONNOSVAIHEEN TIETOMALLIPOHJAISEN KUSTANNUSLASKENNAN LÄHTÖKOHDAT

Tässä luvussa käydään läpi luonnosvaiheen tietomallipohjaisen kustannuslaskennan lähtökohtia. Luvussa 2.1 tutustutaan tarkemmin luonnosvaiheen erityispiirteisiin pohtien, mitä se tarkoittaa kustannuslaskennan osalta. Luvussa 2.2 käydään läpi tietomallipohjaista suunnitteluprosessia ja tietomallien hyödyntämistä rakennushankkeen aikana. Luvussa 2.3 tutustutaan määrä- ja kustannuslaskennan perusteisiin. Tämän jälkeen luvussa 2.4 kootaan yhteen jo toteutettavan tietomallipohjaisen kustannuslaskennan piirteitä.

2.1 Luonnosvaiheen suunnittelu

2.1.1 Yleistä luonnosvaiheesta

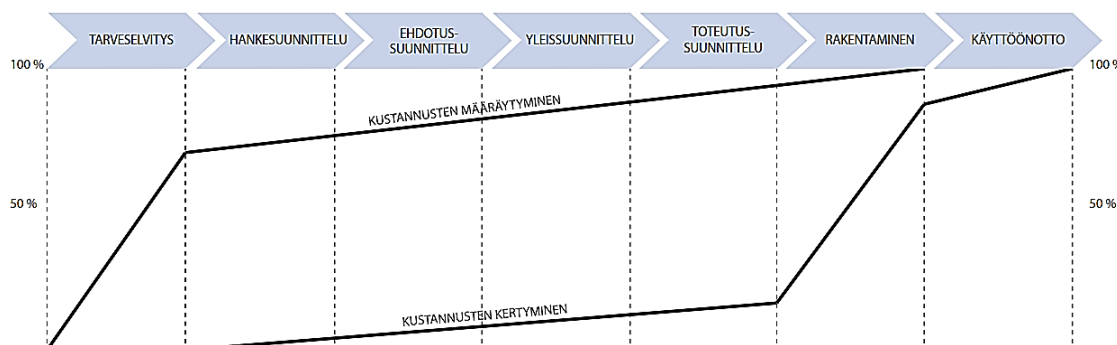
Rakennushankkeen päävaiheiksi mielletään yleisesti tarveselvitys, hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen ja käyttöönotto. Hankkeen vaiheet muodostuvat useammasta välivaiheesta ja niiden limittymisestä. Suunnittelu sisältää useimmiten ehdotussuunnitteluvaiheen, yleissuunnitteluvaiheen ja toteutussuunnitteluvaiheen, joiden tavoitteet ja vaatimukset poikkeavat hieman toisistaan. (Sulankivi et al. 2002) Joissain hankkeissa suunnitteluvaiheissa on myös hankintoja palvelevaa suunnittelua, jossa yleissuunnitelmat kehitetään hankintakyselyjen edellyttämälle tasolle. Luonnos- eli ehdotussuunnittelu sijoittuu perinteisessä talonrakennushankkeessa kuvan 1 mukaiseen kohtaan. Hankkeen vaiheet eivät aina ole näin selkeästi eroteltavissa riippuen hankkeen luonteesta ja urakkamuodosta. Joissain hankkeissa on myös kehitysvaihe, jossa jokin hanketaho, esimerkiksi suunnittelija, konsultti ja/tai urakoitsija, selvittää ilman tilaajan sitoumusta hankkeen toteutuskelpoisuutta, vaikka ei ole varmuutta hankkeen toteutumisesta. Luonnossuunnittelua tehdään usein myös tarve- ja hankesuunnitteluvaiheissa. (RT 10-11224 2016)



Kuva 1. Talonrakennushankkeen vaiheet (RT 10-11224 2016)

Luonnosvaihe on yksi hankkeen tärkeimmistä vaiheista vaikutusmahdollisuuksiensa takia. Luonnosvaiheessa yleensä määräytyy hankkeen toteutumismuoto ja samalla kustan-

nusraamit, joita pyritään noudattamaan koko hankkeen ajan. Luonnosvaiheen suunnittelua tehdään erityisesti tilaajan päätöksenteon tueksi. Kustannukset määräytyvät tyypillisesti heti hankkeen alussa, joten hankkeen taloudellisuutta on tärkeää tutkia tässä vaiheessa, kuten kuvasta 2 voidaan nähdä.



Kuva 2. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen rakennushankkeessa. (RT 10-11226 2016)

Luonnosvaiheelle tyypillistä ovat vajavaiset ja muuttuvat lähtötiedot, jotka hankaloittavat suunnittelua. Muutosten todennäköisyys on melko suuri, joten suunnitteluun käytettävä työ määrä halutaan pitää mahdollisimman pienenä ja suunnitelmien joustavuus mahdollisimman hyvänä. Muutoksia on helppo ja halpa vielä tässä vaiheessa tehdä, kun suunnittelu pidetään suhteellisen yksinkertaisena. Luonnosvaiheen suunnittelu on tärkeää, koska mahdollisten ongelmakohtien paikantaminen varhaisessa vaiheessa helpottaa myöhempää työskentelyä merkittävästi.

2.1.2 Luonnosvaihe suunnittelussa ja kustannuslaskennassa

Luonnosvaiheessa pyritään tarkentamaan hankkeen tavoitteita, rajaamaan vaihtoehtoja ja tekemään päätöksiä toteutuksen suhteen. Suunnittelussa ja kustannuslaskennassa on myös paljon alitavoitteita, jotka pyritään ratkomaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa hanketta. Luonnosvaiheen suunnittelussa rakennesuunnittelun osalta pyritään muun muassa

- määrittämään rakenne-/elementtisuunnittelutyön laajuus
- tekemään rakenteiden alustava määrittäminen
- paikantamaan ongelmakohdat ja puuttumaan niihin
- määrittämään rakenteiden mahdolliset toiminnalle aiheuttamat rajoitteet
- tarkastelemaan vaihtoehtoisia rakenneratkaisuja.

Rakennesuunnitteluun liittyy myös vahvasti tuotannonsuunnittelu, joka saattaa vaikuttaa käytettäviin rakenneratkaisuihin. Luonnosvaiheessa pyritään varmistamaan hankkeen toteutettavuus, ottamaan huomioon tuotannon toimintatavat ja paikantamaan tuotannon riskit sekä puuttumaan niihin. Luonnosvaiheen kustannuslaskennassa puolestaan pyritään

- määrittämään hankesuunnitteluvaihetta tarkempi kustannusraami eli budjetti kaikille osapuolille
- varmistamaan, että käytettävät varat ovat tasapainossa hankkeesta aiheutuviin kustannuksiin
- paikantamaan riskiratkaisut kustannusten osalta.

Luonnosvaiheen suunnittelua tehdään tyypillisesti luonnostelemalla 2D-muodossa, tilaohjelmilla, vertaamalla vastaaviin kohteisiin ja tietomallintamalla. Riippuen hankkeesta, rakennesuunnittelija voi luoda alustavan rakennusosamallin jo todella varhaisessa vaiheessa hanketta. Tämä tapahtuu erityisesti silloin, kun vaihtoehtoisten runkoratkaisujen tarkastelu on tarpeellista. Tietomallinnusta tehdään luonnosvaiheessa yleensä kustannusvetoisesti, mutta tietomalli toimii myös havainnollistavana esitysmuotona. Tietomallien käyttöön rakennushankkeessa perehdytään luvussa 2.2 tarkemmin.

Kustannuslaskentaa toteutetaan hankkeen eri vaiheisiin soveltuvilla laskentamenetelmillä. Hankkeen alkuvaiheessa kustannusten arviointia tehdään tyypillisesti tilamitoituksella ja sen avulla tehtävällä tavoitehintamenettelyllä, viitekohdemenettelyllä tai rakentamisosaa-arviolla. Käytännössä luonnosvaiheen kustannusarviointi perustuu tiloihin, varusteisiin, pinta-aloihin, piireihin, alustaviin rakennusosiin, referenssikohteisiin ja tunnuslukuihin. (Haahtela 2015) Kustannuslaskentaa käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.

2.2 Tietomallinnus

Rakennuksen tietomalli eli BIM (Building Information Model) on yksinkertaistettuna rakennuksen tietojen kokonaisuus. Tietomalli sisältää parhaimmillaan hyvin laajat tiedot rakennuksen rakennusprosessin ja elinkaaren aikaisista tiedoista. Vanhoissa lähteissä käytetään termiä rakennuksen tuotemalli, mutta rakennuksen tietomalli on nykypäivänä vakiintuneempi termi kuvaamaan BIM-mallia. (Karstila 2005)

Tietomallinnuksen päätavoitteita ovat rakentamisen ja suunnittelun laadun parantaminen, sekä turvallisuuden, tehokkuuden ja kestävä kehityksen tukeminen. Tietomallit ovat mullistaneet niin suunnittelijoiden kuin urakoitsijoiden työnkuvaa. Tietomallien avulla voidaan suunnittelun ohella tehdä erilaisia analyyskejä muun muassa rakennettavuudesta ja energiatehokkuudesta sekä havainnollistaa hanketta kaikille osapuolille. Tietomallit tarjoavat myös työkalun laadunvarmistukseen, toimivuuden tarkasteluun, kustannusten vertailuun ja tietojen hyödyntämiseen koko rakennuksen elinkaaren ajan. (BuildingSMART Finland 2012a) Tietomallin luominen on järkevää vain, jos sinne on sijoitettavissa dataa, jota pystytään hyödyntämään toistuvasti muiden ohjelmien avulla. Tietomallista on saatava haettua ja sinne tuotua tietoa. Tietomallin yksi käyttötarkoitus on siis säilyttää uudelleenkäytettävää tietoa. (Bazjanac 2005, s. 2)

Jiri Hietanen kuvaa kirjassaan tietomallien olemusta seuraavasti:

- Tietomallit ovat yksinkertaistettua todellisuutta, aktiivisia, muokattavia, luotettavia ja mittakaavattomia
- Tietomallit erottavat tiedon ja esityksen
- Tietomalleilla on rakenne ja käyttöliittymä
- Tietomallit rajaavat mahdollisuuksia
- Tietomallit eivät ole paikkaan sidottuja. (Hietanen 2005)

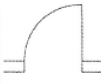

Tietomallit ovat vahvasti havainnollistava työkalu, mutta niitä voidaan hyödyntää monilla muilla tavoilla. Tässä luvussa käsitellään tietomallipohjaista suunnitteluprosessia (luku 2.2.1), tietomallien käyttöä rakennushankkeen aikana (luku 2.2.2), tietomalleille tehtäviä analyysejä (luku 2.2.3) ja tietomallivaatimuksia (luku 2.2.4).

2.2.1 Tietomallipohjainen suunnitteluprosessi

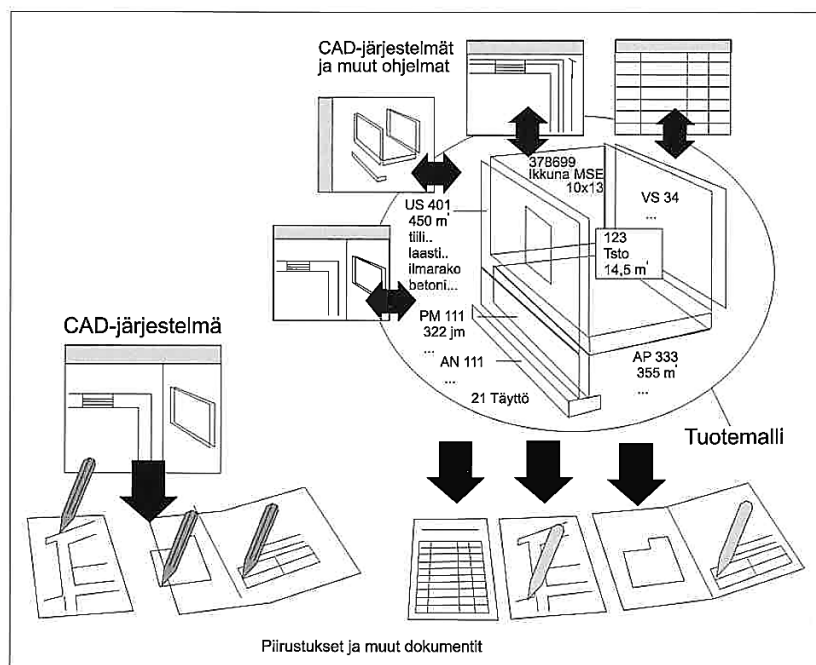
Tietomallin avulla rakennus voidaan rakentaa etukäteen digitaalisessa muodossa ja tämä tuo monia etuja rakennushankkeen suunnitteluun ja toteutukseen. Valmis rakennettu rakennus on aina kyseisen rakennuksen ensimmäinen ja viimeinen toteutettu versio. Tietomallin avulla voidaan simuloida monia rakentamiseen liittyviä vaiheita ja helpottaa ongelmakohtien paikantamista ja ratkaisemista etukäteen. Tietomallinnus on tutkitusti parantanut rakentamisen laatua.

Taulukossa 1 havaitaan tulkintaerot ihmisen ja tietokoneen välillä käytettäessä erilaisia menetelmiä. CAD-suunnittelua (Computer-Aided Design) voidaan pitää piirustuksen tietomallina, mutta CAD-piirustusten sisältöäkin voidaan jossain määrin laajentaa sisältämään muutakin kuin viivoja ja kaaria esimerkiksi tasojen ja värien avulla. Rakennuksen tietomallin voidaan ajatella tulkitsevan objektit saman lailla kuin ihminen. (Hietanen 2005)

Taulukko 1. Tulkintojen ero ihmisen ja tietokoneen välillä. (Hietanen 2005, s. 30)

	Menetelmä	Ihmisen tulkinta	Tietokoneen tulkinta
	Piirtäminen (skannattu)	Ovi	Kuvapistettä
	Piirustuksen tietomalli	Ovi	Viivoja / kaaria
	Geometrian tietomalli	Ovi	Pintoja / kappaleita
	Rakennuksen tietomalli	Ovi	Ovi

Ennen tietomalleja käytettiin ja nykyäänkin osittain tietomallien rinnalla käytetään paljon 2D-suunnittelua, josta puhutaan useimmiten CAD-suunnitteluna. CAD-suunnittelussa tuotettu suunnitelma on aina yksi yksittäinen näkymä rakennuksesta tai sen osasta. Tietomalli eroaa CAD-suunnittelusta siinä, että yhdestä tietomallista voidaan tuottaa lukematon määrä eri näkymiä eli erilaisia suunnitelmia (kuva 3). Kaikki muutokset ja lisäykset, joita tietomalliin tehdään, päivittyvät automaattisesti kaikkiin näkymiin.

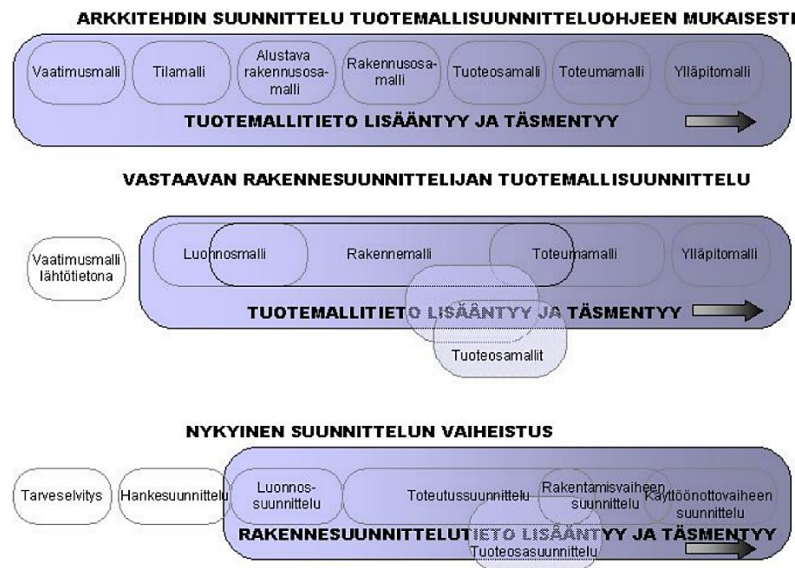


Kuva 3. CAD-piirtämisen ja tietomallipohjaisen työskentelyn vertailu. (Penttilä et al. 2006)

Tietomallipohjainen työskentely on todella intuitiivista sen hyvän havainnollisuuden takia. Suunnittelija näkee käytännössä valmiin tuotteen edessään ja tuottaa siitä tarvittavat dokumentit muille osapuolille. Tietomalli sisältää kaiken sinne syötetyn tiedon kokonaisuudessaan, kun vastaavasti siitä tehty näkymä eli suunnitelma hukkaa automaattisesti jotain tietoa, vähintäänkin havainnollisuuden. 2D-suunnitelmien tuottamisesta tuskin päästään missään vaiheessa eroon, mutta tietomallin käyttöä eri vaiheissa olisi järkevää lisätä. Nykyään esimerkiksi ontelolaattatoimittaja saattaa poimia ontelolaattojen tiedot suoraan tietomallista omaan järjestelmäänsä ilman, että suunnittelija luo ja toimittaa kuvia. Tietomallipohjaisessa suunnitteluprosessissa tietomallista kerätään sieltä saatava tieto ja loput tiedot ulkoisista tietolähteistä, kuten dokumenteista, suunnitteluohjeista ja ammattilaiselta itseltään (Bazjanac 2005).

Tietomallista saadaan suurimmat hyödyt, kun se otetaan hankkeeseen käyttöön mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Tietomallit ovatkin siirtäneet hankkeen painopistettä

ajallisesti aikaisempaan vaiheeseen. Kuvassa 4 nähdään esimerkki siitä, kuinka arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan osalta tietomallipohjainen hanke eroaa perinteisestä hankkeen vaiheistuksesta.



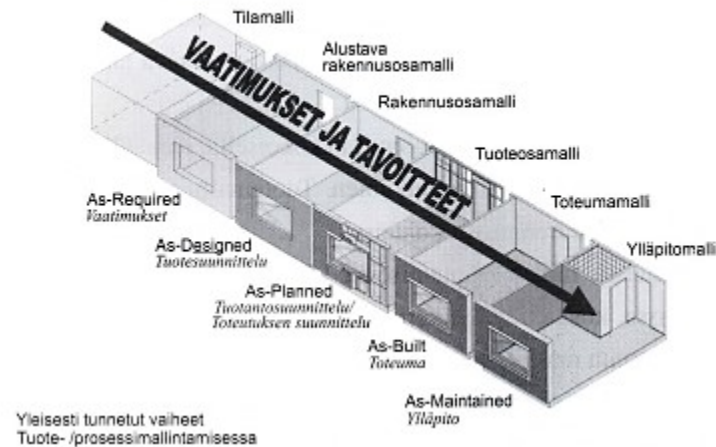
Kuva 4. Esimerkki tietomallien ja hankevaiheiden sijoittumisesta keskenään. (2004)

Tietomallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelijoiden työ alkaa aikaisemmin verrattuna perinteiseen suunnitteluprosessiin. Tämä johtuu siitä, että tietomallista saadaan suurin hyöty, mitä aikaisemmin tietomallinnus otetaan hankkeessa käyttöön. Hyöty saadaan myös maksimoitua, kun mahdollisimman moni hankeosapuolista käyttää tietomallia. Suunnittelijat hyödyntävät lähinnä 3D-suunnittelua, mutta tietomallia voidaan hyödyntää myös 4D- eli aikataulusuunnittelussa ja 5D- eli kustannussuunnittelussa. Mallin hyödyntämiseen palataan tarkemmin luvuissa 2.2.2 ja 2.2.3. Tietomallille tehtävät analyysit ovat luotettavampia ja vertailukelpoisempia, koska niiden lähtötiedot tulevat samasta tietomallista. (Mallintava suunnittelu)

Suunnittelutyön painopisteen siirtyessä hankkeen alkuun, työmäärä kuitenkin usein helpottuu hankkeen loppua kohden. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa suunnittelu on kulminoituvaa eli suunnittelua tehdään kehittäen vanhaa suunnittelua eteenpäin (kuva 5). Hankkeen aikana käytettäviä tietomalleja käydään läpi seuraavassa luvussa 2.2.2. Valmiiden ja hankkeeseen muokattujen kuvapohjien ja kuvien kloonauksen käyttäminen nopeuttaa kuvatuotantoa merkittävästi ja muutostenhallinta on helpompaa suunnitteluohjelmistojen avulla. Kommunikointi ja yhteistyö eri suunnittelijoiden ja hankeosapuolten välillä usein helpottuvat ja tulkintavirheet vähenevät. Tietomallipohjaisessa työskentelyssä eri suunnittelualat voivat toimia samanaikaisesti, eikä suunnittelu ketjutu peräkkäin samalla tavalla kuin perinteisessä suunnitteluprosessissa. Tietomallit mahdollistavat myös nykyään eri suunnittelualojen toimimisen samassa mallissa, jolloin virheiden mahdolli-

suus pienenee entisestään. Jokainen projekti kehittää työskentelytapoja, ohjelmiston käyttöä, kuvapohjia ja työkaluja, joka nopeuttaa edelleen tulevia projekteja. Tietomallipohjainen työskentely on luonut uuden työtehtävän ja hankeosapuolen: tietomallikoordinaattorin. Tietomallikoordinaattori hallinnoi tietosisältöä ja toimii tilaajan apuna.

Mallintamisen teoreettiset vaiheet



Kuva 5. Tietomallin kehittyminen rakennushankkeessa. (Penttilä et al. 2006, s. 28)

Tietomallinnus muuttaa ja monimutkaistaa jonkin verran hankkeen sopimusteknisiä asioita. Tietomallipohjaisen hankkeen yhteydessä on sovittava tarkasti tietomallin käytöstä ja korvauksesta. Tietomalliluovutus sopimuksessa tulisi sopia muun muassa tiedonsiirron tiedostoformaateista ja sisällöstä, tietomallin käyttötarkoituksesta, luovutuksen luonteesta (kertaluovutus/määräajoin toteutettava luovutus), käyttöoikeudesta (määräaikaisuus/py-syvyys), vastuurajoista, tietomallista saatavasta korvauksesta ja oikeudesta luovuttaa kolmansille osapuolille. (Mallintava suunnittelu)

Tietomallipohjaisen suunnittelun keskeisimpiä eroja verrattuna perinteiseen toimintatapaan ovat seuraavat:

- Rakennesuunnittelija otetaan projektiin mukaan varhaisemmassa vaiheessa
- Suunnittelun tehtävämäärittelyt tulee sopia mahdollisimman aikaisin
- Lähtötiedot ja niiden toimittaminen tulee sopia aikaisempaa tarkemmin
- Luonnosvaiheen suunnittelua tehdään mahdollisimman yksinkertaisesti ottaen huomioon siitä tarvittavat tietotarpeet
- Suunnittelun painopiste siirtyy enemmän luonnosvaiheeseen
- Toteutus- ja tuotannosuunnitteluvaiheen alussa työmäärä on suurempi, mutta helpottuu voimakkaasti vaiheen edetessä automatisoinnin ansiosta
- Mallintamistarkkuudesta eri vaiheissa tulee sopia
- Tietomalli toimii hyvänä lähtötietona, mikäli rakennesuunnittelua on jaettu eri osapuolille. (Varis & Romo 2004)

2.2.2 Rakennushankkeen aikana käytettävät tietomallit

Seuraavaksi käydään läpi tietomallien käyttöä eri vaiheissa rakennushanketta. Rakennushankkeen aikana käytetään usein useampaa eri suunnittelualan mallia sekä saman suunnittelun eri taseoisia malleja. Tätä kuvaa hyvin edellisen kappaleen kuva 5. Tämän lisäksi saatetaan luoda tietomalleja vain jotain tiettyä tarkoitusta tai analyysiä varten. Tietomallien käyttöä analyyseissä käydään läpi tarkemmin luvussa 2.2.3.

Rakennuksen tietomallia käytetään muun muassa suunnitelmadokumenttien tuottamiseen, mitta- ja määrätiedon hankintaan, visualisointiin, kiinteistönhallinnan lähtötietona ja tuotetun tiedon säilytyspaikkana rakentamisen jälkeen. (Varis & Romo 2004) Taulukossa 2 on yksi esimerkki arkkitehdin, rakennesuunnittelijan, TATE-suunnittelijan ja urakoitsijan käyttämiä tietomalleista eri vaiheissa rakennushanketta. Tietomallien käyttö tai käyttämättä jättäminen eri hankkeen vaiheissa voivat vaihdella riippuen hankkeen luonteesta.

Taulukko 2. *Tietomallit jaoteltuna osapuolen ja hankkeen vaiheen mukaan. (Harmanen 2010)*

Tietomallit rakennusprosessissa	Arkkitehti	Rakennesuunnittelija	TATE-suunnittelija	Urakoitsija / toimittaja
Hankesuunnittelu (korjauskohde)	Vaatusmalli (Inventointimalli)	Vaatusmalli (Inventointimalli)	Vaatusmalli (Inventointimalli)	
Ehdotussuunnittelu	Massa-, tilaryhmä-, tilamallit	Tilavausmalli	Tilavausmalli	
Yleissuunnittelu	Alustava rakennusosamalli	Alustava rakennemalli	Alustava järjestelmämalli	Alustava tuotantomalli
Hankintoja palveleva suunnittelu	Rakennusosamalli - hankinnat	Rakennemalli - hankinnat	Järjestelmämalli - hankinnat	Tuotantomalli
Toteutus suunnittelu	Rakennusosamalli - toteutus	Rakennemalli - toteutus	Järjestelmämalli - toteutus	Tuotantomalli
Rakentaminen	Toteumamalli	Toteumamalli	Toteumamalli	Tuotantomalli

Tarveselvitysvaiheessa luodaan harvemmin vielä rakennuksen geometriaa kuvaavaa mallia, vaan tarpeita kootaan ja havainnollistetaan niin sanotulla vaatimusmallilla, johon kirjataan asiakkaan tilavaatimukset. Useimmiten näitä kuvataan käyttötarkoituksella, pinta-alalla, laatusolla, varusteilla, liittymisillä muihin tiloihin ynnä muilla samanlaisilla ominaisuuksilla. Tarveselvitysvaiheessa rakennus luodaan tilojen avulla, joille annetaan useimmiten tunniste, käytettävän nimikkeistön mukainen käyttötarkoitus, nimi ja mahdollisesti tilatyyppi ja sijaintitunniste, mikäli nämä ovat tiedossa. (BuildingSMART Finland 2012a)

Ehdotus- ja luonnossuunnittelussa haetaan hankkeeseen sopivaa ratkaisua vertailemalla erilaisia vaihtoehtoja. Tietomalli yleensä luodaan tässä vaiheessa, koska sen visuaalisuus, havainnollistavuus ja mallista saatavat tiedot helpottavat huomattavasti päätöksentekoa.

Luonnosvaiheen tietomallin luominen vaatii tarkempaa tietoa kuin edellisessä vaiheessa kuvaillut tilat. Tiloilta tulee määrittää sijainti ja muoto, jotka voidaan koota rakennukseksi. Eri vaihtoehtojen tarkastelu on tärkeää, koska rakennuksen suurilla suunnittelulinjoilla on suuri kustannusvaikutus. Muutosten tekeminen myöhemmin on aina kallimpaa. (BuildingSMART Finland 2012a)

Luonnossuunnitteluvaiheessa luodaan mahdollisesti rakennuspaikan malli ja inventointimalli, joista ilmenee nykyinen rakennuspaikka korjaus- tai laajennuskohteessa nykyiset rakenteet. Arkkitehti luo vaihtoehtoiset tilamallit ja suunnitteluratkaisut kohteelle. Arkkitehdin tietomalli on tyypillisesti niin sanottu massamalli, jossa tarkastellaan rakennuksen massoitteita. Rakennesuunnittelija luo tilavarausmallin tai alustavan rakennusosamallin ja talotekniikkasuunnittelijat alustavat järjestelmämallit. Luonnossuunnitteluvaiheessa kustannuslaskenta perustuu lähinnä pinta-aloihin ja tilavuuksiin, mutta myös alustavan rakennusosamallin avulla voidaan tehdä kustannusarvioita, kuten tässä työssä on ajatuksena tehdä. Rakennuksen muoto ja rakenne alkavat luonnosvaiheessa hahmottumaan, joten tietomalleille voidaan tehdä alustavia energia-analyyssejä, elinkaarikustannusarvioita ja yhteensopivuustarkasteluja. Luonnosvaiheen lopputuloksena tulisi saada selkeytyneet vaatimukset rakennukselle ja päärakennearkistelmälle. (BuildingSMART Finland 2012a)

Eri suunnittelualojen ammattilaiset ja tutkijat ovat tunnustaneet tarpeen samanaikaisen tiedonjaon ja monitieteellisen yhteistyön suunnitteluprosessin aikana ovat perustavanlaatuisia edellytyksiä laadukkaiden tuotteiden tuottamiseksi. Tästä syystä monia ohjelmistoja on kehitetty integroimaan tiedonsiirtoa koko tuotannon prosessin ajan, mutta monet ohjelmistot tukevat lähinnä myöhempien suunnitteluvaiheiden tavoitteita. Harva ohjelmistoista tukee onnistuneesti luonnosvaiheen suunnittelua. (Cavieres et al. 2011)

Arkkitehdillä luonnosvaihe on luonteeltaan luova prosessi, joka perustuu luomaan ratkaisuja huonosti määritellyillä ja vajailla lähtötiedoilla. Luonnosvaihe on intuitiivinen ja tulkinnanvarainen prosessi, joka vaatii joustavia, epämuodollisia ja geneerisiä esityksiä. Ristiriitaisesti hyödyllisen tiedon tuottamiseen vaaditaan tämän saman tiedon formalisointia. Parhaassa tilanteessa luovaa ja epämuodollista esitystä voidaan kehittää ja tarkentaa vastaamaan myöhempien suunnitteluvaiheiden tarpeita. (Cavieres et al. 2011)

Yleissuunnitteluvaiheessa kehitetään luonnosvaiheessa päädyttyä ratkaisua eteenpäin toteutussuunnittelua kohti ja havainnollisuus paranee. Arkkitehti päivittää oman tietomallinsa alustavaksi rakennusosamalliksi tärkeimpien rakenteiden osalta. Muut tietomallin tarkkuusvaatimukset määräytyvät pääasiassa rakennuslupakuvien tarpeiden mukaan. Rakennesuunnittelija mitoittaa rakenteet, varmistaa yhteensopivuuden ja muut suunnittelualat varmistavat omia tilatarpeitaan. Yhteensopivuutta tarkastetaan yhdistelemällä tietomalleja yhdistelmämalliksi ja tekemällä siihen risteämistarkistuksia. Kustannuslaskentaa päivitetään rakennusosamallien avulla tarkemmaksi. (BuildingSMART Finland 2012a)

Toteutussuunnitteluvaiheessa tiedon määrä kasvaa merkittävästi. Tietomallia tarkennetaan urakkatarjouspyyntöjen edellyttämään tarkkuustasoon ja kohti toteutettavaa rakennusta. Toteutussuunnitteluvaiheessa tietomallitoimituksia tehdään tarpeeksi tiuhaan, jotta mahdolliset muutokset saavuttavat kaikki osapuolet ajoissa. Arkkitehti muuttaa tietomallinsa tässä vaiheessa rakennusosamalliksi koko tietomallin osalta. Mallin tulee olla mitattarkka ja käytettävissä määrälaskentaan. Arkkitehtimalli toimii pohjana muiden suunnittelualojen malleille, joten sen paikkaansa pitävyys on erityisen tärkeää. Rakennesuunnittelija tekee mallinsa arkkitehtimallin mukaiseksi ja saattaa suunnittelunsa toteutusvaiheen vaatimaan tarkkuuteen. Elementtikohteessa tämä tarkoittaa kaikkien elementtien mallintamista tarkkuustasoon, jonka elementtitoimittaja ja suunnitelmien teko vaativat. Rakennemallia tulee voida käyttää määrälaskennassa, yhteensovituksessa ja aikataulutuksessa. Sama pätee muiden suunnittelualojen tietomalleihin. Viimeistään tässä hankevaiheessa toteutetaan kattavat määräluettelot ja niistä johdettu kustannusarvio. Osa laskennasta joudutaan tekemään lähes poikkeuksetta perinteisillä laskentamenetelmillä riippumatta hankevaiheesta. (BuildingSMART Finland 2012a)

Toteutussuunnittelun tarkennusmuotona on hankintoja palveleva suunnittelu. Suunnittelussa kiinnitetään erityishuomiota urakkatarjousten ja rakennustyön suunnittelun vaatimiin seikkoihin. Pääperiaatteena on, että tietomalli mallinnetaan kuin rakennetaan. Urakkatarjousten tekemistä ja rakennustyön suunnittelua varten voidaan toimittaa tietomallit, tarvittavat määräluettelot, mahdolliset visualisoinnit ja muut dokumentit. Suunnittelussa on usein myös vahvana aikataulutusta eli 4D, joka saattaa aiheuttaa jonkinlaisia mallinnusvaatimuksia. (BuildingSMART Finland 2012a)

Toteutusvaiheessa tietomallin tulisi vastata rakennettavaa rakennusta. Tietomallia käytetään työmaalla tässä vaiheessa visualisointiin, määrälaskentaan, aikataulutukseen ja turvallisuussuunnitteluun. Joissain kohteissa esimerkiksi elementtien tuennat mallinnetaan, jotta tilatarpeen täyttyminen ja toteutettavuus voidaan varmistaa. Toteutusvaiheessa on tärkeää kirjata kaikki rakentamisen aikana ilmenneet suunnitelmamuutokset, jotta tietomalli voidaan päivittää näiden muutosten osalta pätemään todellisuutta. (BuildingSMART Finland 2012a)

Vastaanottovaiheessa tietomalli saatetaan toteumamalliksi, jossa rakenteiden tulisi olla rakennetussa muodossaan eli niin sanotusti as-built. Urakoitsijalla on velvollisuus ilmoittaa muutoksista, jotta tietomalli tulee päivitettyksi. Toteumamallilla on samat tietomallivaatimukset kuin toteutussuunnittelussa, mutta vain päivitettyinä työmaan muutoksilla. Toteumamalli voidaan luovuttaa rakennuksen käytön aikana hyödynnettäväksi taloyhtiön käyttöön huoltokirjan kanssa. (BuildingSMART Finland 2012a)

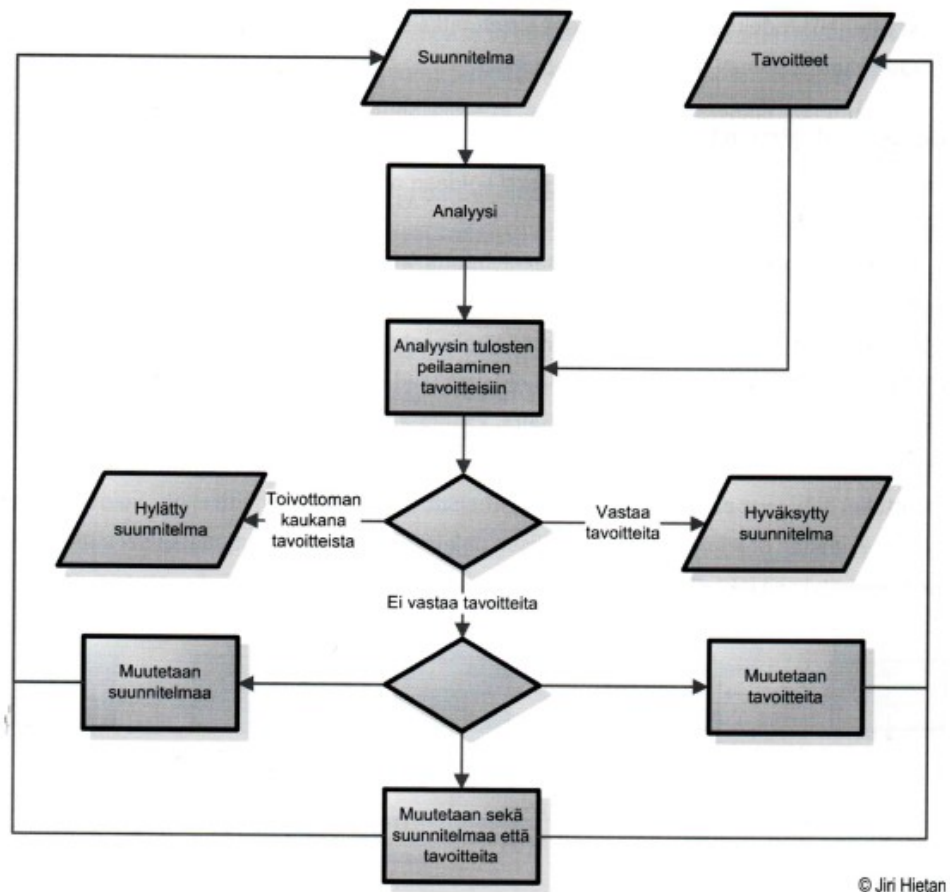
Näiden edellä mainittujen tietomallien lisäksi voidaan luoda muun muassa erillinen kustannusmalli, jonka sisältö- ja tarkkuusvaatimukset saattavat erota edellä mainituista. Useimmiten määrälaskentaan käytetään samaa mallia kuin muuhun suunnitteluun, mutta esimerkiksi luonnosvaiheessa voidaan luoda nimenomaan määrä- ja kustannuslaskentaan

käytettävä malli. Samaa tietomallia voidaan hyödyntää projektin edetessä tai luoda uusi malli, mikäli rakennuksessa on tapahtunut suuria suunnitelmamuutoksia, tietomallinnus-tarkkuus poikkeaa toteutetusta tai uuden mallin tekeminen koetaan muuten järkeväksi.

Vielä nykypäivänä eri hankeosapuolet käyttävät erillisiä tietomalleja joiden yhteensopi-vuutta tarkastellaan tietyin ennalta sovituin väliajoin tietomallitoimitusten avulla. Nyky-ään saman tietomallin käyttäminen eri suunnittelijoiden taholta samanaikaisesti on mah-dollista esimerkiksi Tekla Structures-ohjelman Model Sharing-ominaisuudella. Tietomal-liin voi liittyä niin saman suunnittelutoimiston henkilöstö, kuin toisen suunnittelutoimis-ton tai rakennusliikkeen henkilöstö riippumatta osapuolten yrityksestä tai fyysisestä si-jainnista. Tämä mahdollistaa sen, että samaa tietomallia voi muokata ja tarkastella eri hankeosapuolten henkilöstö ja tieto on täysin ajantasainen jatkuvasti. Rakennesuunnitte-lija voi esimerkiksi määrittää itse elementteihin tulevia liitososia, jolloin elementtisuun-nittelija voi luottaa siihen, että elementtien osat ovat rakennesuunnittelijan haluamilla si-jainneilla. Normaalisti osien asemointi tapahtuisi referenssitietomallin ja 2D-dokument-tien tiedoilla, jotka eivät välttämättä ole aivan ajantasaisia. Elementtitehdas tai rakennus-liike voi puolestaan muokata samaan malliin elementtien valmistumistiedon tai element-tien asennusaikataulun. Tällöin suunnittelijat tietävät suoraan mallin kautta elementtien valmistustilanteen, mikäli muutoksia on tarpeen tehdä. Tähän toimintatapaan opitaan vielä, mutta yhteinen tietomalli tehostaa toimintaa entisestään ja vähentää virheitä.

2.2.3 Tietomallien avulla tehtävät analyysit

Rakennushankkeessa analyysien perimmäisenä tarkoituksena on tutkia suunnitelmien so-veltuvuutta tavoitteisiin (kuva 6). Suunnitelman analyysi tuottaa tuloksia, joita peilataan asetettuihin tavoitteisiin. Suunnitelmien vastatessa näitä tavoitteita, voidaan ratkaisu hy-väksyä. Tulosten ollessa ristiriidassa tavoitteisiin on vaihtoehtona muuttaa tavoitteita, muuttaa suunnitelmaa tai molempia edellä mainittuja. Joissain tapauksissa voidaan olla niin kaukana tavoitteista, että suunnitelma kannattaa suoraan hylätä. (Hietanen 2005)



Kuva 6. *Analyyysin rooli suunnittelutyössä. (Hietanen 2005)*

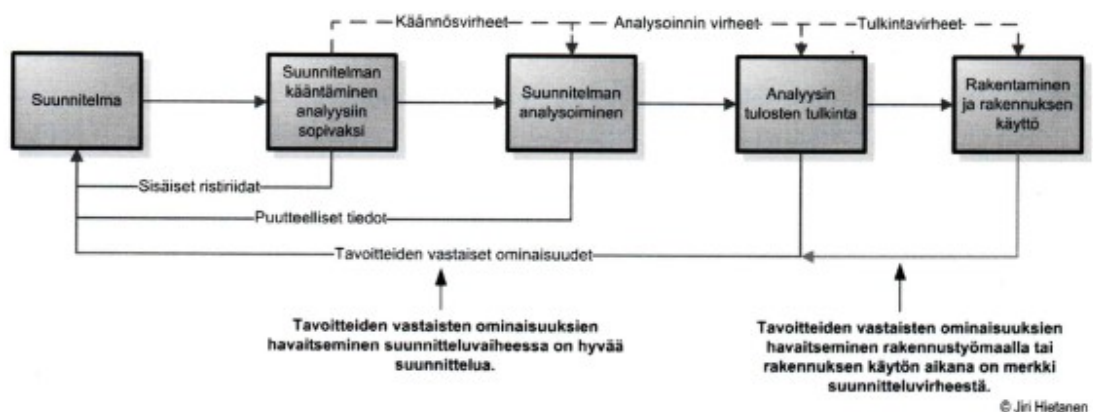
Rakennuksen suunnitelmille ja tietomalleille tehtävillä analyyseilla voidaan tutkia esimerkiksi arkkitehtuuria, viranomaisten vaatimusten täyttymistä, rakennettavuutta, kustannuksia, ekologisuutta, rakennuksen toimivuutta ja ympäristöön sopivuutta. Analyyksien pääasiallinen tarkoitus on tietenkin tutkia, toteutuuko hankkeelle asetetut tavoitteet. Tyyppillistä on, että rakennusta ei voi suunnitella kaikkien analyyksien suhteen optimaaliseksi, vaan analyyseille tulee antaa erilaisia painoarvoja. (Hietanen 2005, s. 56-59) Tässä työssä keskitytään lähinnä analysoimaan rakentamisen kustannuksia, mutta toimintatutkimuksessa selviää varmasti muitakin seikkojen, joiden huomioon ottaminen päätöksenteossa on aivan välttämätöntä.

Lähtökohtana tietomallin hyödyntämiselle ovat selkeät tavoitteet, joiden avulla määritetään mallista tuotettava tieto. Yleisiä tavoitteita tietomallin hyödyntämiselle ovat päätöksenteon tukeminen, osapuolten sitouttaminen hankkeeseen, rakennuksen havainnollistaminen, eri suunnittelualojen suunnitelmien yhteensovittaminen, rakentamisen ja suunnittelun laadun nostaminen ja laadunvarmistus, suunnittelu- ja toteutusprosessien tehostaminen, turvallisuuden parantaminen, kustannus- ja elinkaarianalyyksien tukeminen ja tiedon hyödyntäminen rakennuksen käytön aikana. (BuildingSMART Finland 2012a)

Tietomalleista teetetään erilaisia analyyskejä päätöksenteon tueksi ja epätoivottavien ominaisuuksien paikantamiseksi. Analyysien teettämisen taustalla on saada rakennuksesta lisätietoa, joka voisi vaikuttaa hankkeessa tehtäviin päätöksiin esimerkiksi ulkonäön, rakenteiden ja kustannusten osalta. Analyysit ovat turhia, jos niistä saadut tiedot eivät tuota jotain lisäarvoa. Tärkeää on ymmärtää mitä, miten ja kuinka luotettavia analyyskejä tietomallista teetetään sekä kriittisimpänä se, millainen merkitys analyyskeilla on. Epätoivottavien ominaisuuksien paikantaminen on erityisen tärkeää mahdollisimman varhaisessa vaiheessa hanketta, eikä vasta työmaalla tai valmiissa rakennuksessa. Tietomalleista tehdyt analyysit ovat tähän vartenotettava keino. Analyyskeissa pitää keskittyä oleelliseen, joten analyysia tekevän henkilön kokemus astuu tärkeään asemaan. Kokenut ammattilainen osaa tulkita analyysin tuloksia tarkoituksen mukaisesti ja havaita mahdollisia puutteita ja virheitä analyysin toteutuksessa. Analyysit eivät missään nimessä korvaa kokemusta. (Hietanen 2005, s. 55-56, 72)

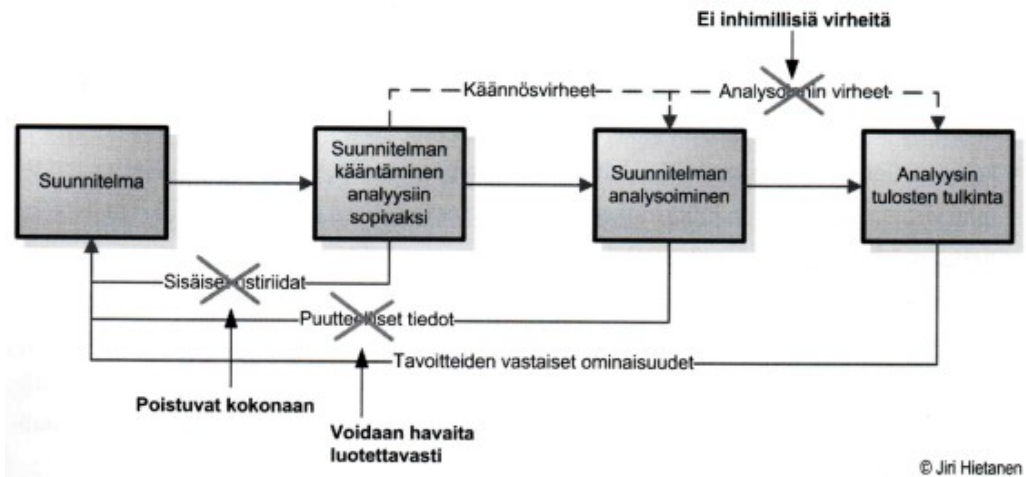
Rakennuksen virheenetsintä analyysin kautta etenee kuvan 7 mukaisella tavalla. Eri analyysien tarkoitus on estää virheiden pääsemästä valmiiseen tuotteeseen asti eli tarjota mahdollisuus korjata ongelmat jo suunnittelun aikana. Prosessissa on monta paikkaa, jossa voi tapahtua tuloksia vääristäviä virheitä. Jotta analyysia voidaan päästä tekemään, tulee suunnitelma kääntää ensin analyysin vaatimaan muotoon. Mikäli tämä kääntäminen tehdään ihmisen toimesta, voi syntyä tulkintavirheitä tai tulkinta voi ainakin poiketa riippuen siitä, kuka kääntämistä tekee. Suunnitelmien monitulkintaisuus ja käänkösvirheet vaikuttavat suoraan analyysin luotettavuuteen. (Hietanen 2005)

Virheitä voi myös tapahtua itse analyyskeissa tai sen tulosten tulkinnassa. Analyyskeista voi puuttua oleellisia lähtötietoja, analyysin aikana voi tapahtua laskentavirheitä tai analyysiohjelma voi sisältää ohjelmointivirheitä. Tulosten tulkinnassa selviää, onko asetetut tavoitteet täytetty. Tulkintavirheitä syntyy, mikäli tuloksia tulkitaan väärällä tavalla tai jokin edellä mainituista virheistä on aiheuttanut virheen itse tulokseen. Hyvässä suunnittelussa virheet havaitaan jo suunnittelupöydällä. (Hietanen 2005)

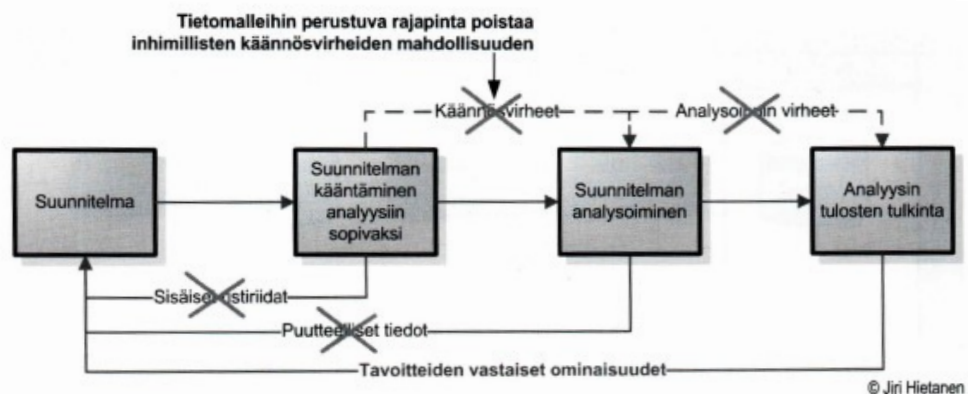


Kuva 7. Virheenetsintä. (Hietanen 2005)

Sopivaa tietomallia käyttäessä suunnitelmien kääntäminen analyysille sopivaksi voidaan toteuttaa automaattisesti. Tietomalli ei voi edes teoriassa sisältää sisäisiä virheitä ja mahdolliset lähtötietopuutteet voidaan havaita luotettavasti tutkimalla tietomallia vaihteittain esimerkiksi ketjuttamalla erilaisia analyyskejä. Analysoinnin virheet myöskin katoavat, koska tietomallia käytettäessä voidaan poistaa inhimillisiä virheitä. Tietomalli tulkitsee sisältöä aina samalla tavalla. Mikäli käytetään vielä tietomalleihin perustuvaa rajapintaa, voidaan poistaa inhimillisten käännösvirheiden mahdollisuus (kuva 8 ja 9). (Hietanen 2005, s. 63-64)



Kuva 8. Tietomallin vaikutus analyysien luotettavuuteen. (Hietanen 2005)



Kuva 9. Tietomalleihin perustuvan rajapinnan vaikutus analyysin luotettavuuteen. (Hietanen 2005)

Tietomallin käyttämisestä syntyy kuitenkin uusia virhelähteitä: sekamallit, väärät mallinnustyökalut, näkymättömät virheet ja oletukset. Sekamalleissa, joissa on käytetty 3D-mallintamisen lisäksi esimerkiksi viivapiirtotyökaluja eli 2D-suunnittelua sekaisin 3D-suunnittelun kanssa, saattaa joitain rakenneosia jäädä analyysistä kokonaan pois. Toinen virheitä aiheuttava tekijä on väärän mallinnustyökalun käyttäminen. Tämä voi tapahtua esimerkiksi käsiteltäessä haastavaa geometriaa, jolloin tietomalli saattaa tulkita esimerkiksi kaltevan pilarin kattolaataksi. Näkymättömässä virhetilanteessa tietomalli voi olla

luotu suunnittelun kannalta riittävällä ja oikealla tavalla, mutta ei analyysin vaatimalla tavalla. Virheitä syntyy myös oletusarvojen kautta. Usein suunnittelussa tulee vastaan myös tilanteita, joissa jotain rakennetta ei ole välttämättä suunniteltu loppuun asti, mutta osien on silti sijaittava tietomallissa. Tällöin rakenne voidaan tulkita suunnitelluksi ja tämä vääristää tuloksia. Tietomalliin tulisikin aina lähtökohtaisesti mallintaa vain sinne suunniteltuja asioita, mutta aina tämä ei ole mahdollista. (Hietanen 2005, s. 64-66)

Tietomalleille tehtävien analyysien luotettavuus ja nopeus kasvavat, mikäli samaa tietomallia tai useamman tietomallin yhdistelmää voidaan hyödyntää useammassa tilanteessa. Tämä voi aiheuttaa ongelmia vastuunjaossa, kun lähtötietona tai jopa analyysissä hyödyntävänä mallina voi toimia toisen osapuolen tuottama malli. Lähtötietoa sisältävän mallin tekijä ei välttämättä osaa ottaa huomioon työssään seikkoja, jotka voivat vaikuttaa analyysin toteutukseen. Vastuunjako voidaan tehdä selkeämmin, kun tiedon toimittaminen tehdään oikeanlaisen rajapinnan kautta ja tälle rajapinnalle asetetaan selkeät vaatimukset. Analyysiohjelma voi myös sisältää virheitä, jotka yleensä vieritetään käyttäjän harkinnan ja tarkkaavaisuuden vastuulle. (Hietanen 2005, s. 70, 72) Saman tietomallin hyödyntäminen koko hankkeen ajan ja erilaissa analyysissä varmistaa suunnitelmien risitiriidattomuutta keskenään. Parhaassa tilanteessa kaikkien eri suunnittelualojen tieto sijaitsisi samassa tietomallissa, mutta tämän tapahtuminen edellyttää vielä uudenlaisten sopimusten luomista ja teknologian edelleen kehittymistä.

2.2.4 Tietomallivaatimukset yleisesti ja luonnosvaiheessa

Tietomallintamisesta on julkaistu useita valtakunnallisia julkaisuja ja tämän lisäksi suunnittelutoimistot ylläpitävät yritysten sisäisesti hyvää ja yhtenäistä mallinnustapaa. Merkittävimpiä tietomallintamista käsitteleviä kehityshankkeita ovat olleet Rakennusteollisuus RT ry:n Pro IT -hanke, Senaattikiinteistöjen Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -hanke ja Suomen Rakennusteollisuuden BEC 2012 -hanke. Tässä osiossa keskitytään lähinnä luonnosvaiheen tietomallinnuksen määrittelyihin. Määrä- ja kustannuslaskentaan palataan luvussa 2.3.

ProIT- kehityshanke on toteutettu vuosina 2002-2005 Rakennusteollisuus RT ry:n käynnistämänä, tavoitteenaan muodostaa rakennusprosessin kansallinen tietomalleihin perustuva tiedonhallintatapa. Projektille luotiin kolme päätavoitetta:

- yhtenäisten mallinnuskäytäntöjen luominen ja laajamittaisen tietomallien hyödyntämisen varmistaminen
- tiedonsiirron sujuvoittaminen IFC-tiedonsiirtostandardin kautta
- yhtenäisten tuoterakenteiden luominen, jolloin rakenteiden tunnistaminen ja hyödyntäminen rakennusprosessin aikana helpottuu. (ProIT- kehityshanke)

Projektin kehitystyössä hyödynnettiin pilottihankkeita, joiden avulla kehitettyjen ohjeistusten käyttökelpoisuutta testattiin. Kaikki hankkeesta julkaistu tieto on saatavilla hankkeen nettisivuilta ja valtaosa tiedosta on edelleen aivan paikkaansa pitävää.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -julkaisusarjan (YTV2012) osat julkaistiin päivityksenä vuonna 2007 Senaatti-kiinteistöjen toimesta julkaisemille tietomallivaatimuksille. YTV2012 toteutettiin vuosina 2011-2012 ja julkaisu on tehty alan monen eri toimijan yhteistyönä. YTV2012 koostuu yhteensä 14 pääjulkaisusta ja neljästä täydentävästä liitteestä, jotka ovat kaikki saatavilla buildingSMART Finlandin sivustolta. Osa 1 esittelee yleisesti julkaisujen sisältöä. Osassa 2 käydään läpi lähtötilanteen mallinnusta ja osat 3-5 esittelevät tarkemmin arkkitehtisuunnittelua, taloteknistä suunnittelua ja rakennesuunnittelua tietomallintamisen näkökulmasta. Osat 6-10 keskittyvät tietomallin hyödyntämiseen laadunvarmistuksessa, määrälaskennassa, havainnollistamisessa ja TATE- sekä energia-analyyseissä. Osissa 12-14 eritellään tietomallin hyödyntämistä rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana, rakentamisessa ja rakennusvalvonnassa. Neljä liitettä sisältävät arkkitehti- ja rakennesuunnittelun tilaajan ohjeet ja talotekniikan määrälaskentaohjeen sekä talotekniikan mallinnusvaatimuksia. Ohjeet on julkaistu suomen lisäksi myös englanniksi, saksaksi, viroksi ja espanjaksi. (BuildingSMART Finland 2012a)

BEC2012 on betonielementtiteollisuuden, rakennesuunnittelijoiden ja Tekla Oyj:n (nykyään Trimble Inc.) yhdessä vetämä kehitysprojekti, jossa on pyritty kehittämään betonielementtien 3D-suunnittelua, tietomallinnusta ja tiedonsiirtoa. Ohjeistuksissa on keskitytty määrittämään, minkälaista tietoa tietomallin tulisi sisältää rajoittamatta tarkemmin, kuinka tämä tieto tuotetaan malliin. Tällöin ohjeistuksen pitäisi päteä suunnittelutoimistosta riippumatta, vaikka työkalut ja ohjeistukset saattavat hieman poiketa toisistaan. BEC-hankkeen yhteydessä on tuotettu muun muassa mallinnusohje elementeille, määräluettelo-ohje ja mallielementtipiirustukset, jotka löytyvät kaikki elementtisuunnittelu.fi-sivustolta. (BEC2012-hanke 2014)

Kaikkien edellä mainittujen kehityshankkeiden tavoitteena on ollut luoda yhtenäistä tietomallintamista ja tiedonsiirtoa, jotta tietomallintamalla tehdyt kohteet olisivat luotettavia ja tietomallit mahdollisimman hyvin hyödynnettyjä. Tietomallivaatimuksia ei kuitenkaan voida, eikä ole järkeä määrittää yksiselitteiseksi siten, että ne pätisivät kaikissa hankkeissa. Tietomallia hyödynnetään projektista riippuen eri tavoin, joten mallinnustarkkuudesta ja tietomalliin syötettävästä tiedosta tulee aina sopia erikseen. Tietomalliin ei ole esimerkiksi järkeä tuottaa tarkkoja raudoituksia, jos tietomallista tuotettujen raudoitusluetteloiden sijaan hyödynnetään vaikkapa 2D-suunnitteluna määritettyjä perusraudoituksia. Hyvä mallinnustapa on tärkeää sisäistää, mutta eri toimintatapoja tulee hyödyntää tapauskohtaisesti ja perustellusti. Edellä mainitut kehityshankkeet antavat hyvät raamit laadukkaalle suunnittelulle, mutta suunnittelijan tulee itse määrittää, mikä on kyseisen hankkeen kohdalla tehokkain ja eniten lisäarvoa tuottava toimintatapa.

Useat ohjeistuksissa määritetyt toimintatavat ovat yleisiä ja käyttökelpoisia kaikissa hankkeen vaiheissa. ProIT-tutkimus ei anna suoraan tarkempia ohjeistuksia erityisesti luonnosvaiheen mallintamiseen, mutta tutkimuksen antamia yleisiä suosituksia ja huomioita ovat muun muassa:

- Mallinnuksen tulee tukea 2D-suunnittelua (kuvatasot, värit, viivapaksuudet, yms.)
- Hankkeelle tulee määritellä projektikohtainen mallinnusohje
- Osat mallinnetaan nimikkeiden mukaan ja oikeilla työkaluilla. Mikäli joudutaan käyttämään poikkeavaa mallinnustyökalua, osa tulee pystyä tunnistamaan esimerkiksi luokkatunnuksella
- Mallinnustapa ja mallinnustarkkuus ovat ohjelmistokohtaisia
- Rakennus tulee lähtökohtaisesti mallintaa yhteen malliin, mutta poikkeuksena tässä toimivat isot kohteet, jotka voi olla järkevää jakaa useampaan malliin
- Tuoteosat ja objektit mallinnetaan sillä tasolla, mitä suunnittelu vaatii, mutta vähintään geometrian tulee olla pääpiirteissään oikealla tarkkuudella
- Ohjelmiston tulee pystyä luomaan rakennusosakokonaisuuksia eli assemblyjä
- Pintarakenteet ja -käsittelyt mallinnetaan ohjelmistosta ja käytöstä riippuen
- Osien mallinnuskiintopisteistä tulee päättää (esimerkiksi pilarilla nurkka siten, että kokoa muuttaessa pilarin sijainti pysyy oikeana)
- Raudoitukset tulee mallintaa ryhmänä
- Muiden suunnittelualojen malleja luetaan lähtötiedoksi, joten mallinnustarkkuudesta ja sisällöstä tulee sopia
- Reikä tiedoista tulee ilmetä, kenen varaama kyseinen aukko on. (Varis & Romo 2004)

Yleisesti määrätään, että tulisi mallintaa totuudenmukaisesti kaikki kantavat ja ei-kantavat rakenteet ja lisäksi rakennustuotteet, joiden koolla ja sijainnilla on merkitystä. Osat tulee mallintaa siten, että tiedonsiirrossa osien sijainti, geometria ja tyyppi tai nimi siirtyvät oikeanlaisina. Rakennesuunnittelijan on määritettävä rakennetyypit, vaikka niitä ei esiintyisi mallissa ja niiden tulee olla nimetty samalla tavalla arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan malleissa. Lohkojaottelua voidaan käyttää, mikäli sillä on tarkoituksenmukaisuutta. (Talo-nimikkeistöryhmä 2008)

Geometrinen mallinnustarkkuus tulisi olla heti ensimmäisistä malleista asti ehdoton, koska mallit toimivat useimmiten lähtötietona toisille suunnittelualoille. Tietosisältö vaihtelee hankkeen vaiheesta riippuen ja suunnittelu on kumuloituvaa. Tästä aiheutuu se, että mallin eri osissa voi olla eri suunnitteluvaiheille tyypillistä mallinnustarkkuutta ja tietosisältöä. Taulukossa 3 on esimerkki eri vaiheen tietomallien tietosisällöstä ProIT-hankkeen mukaan. (Varis & Romo 2004)

Taulukko 3. Esimerkki tietomallien tietosisällöstä eri vaiheissa. (Varis & Romo 2004)

Mallinnusvaihe (ARK/RAK)	Rakennesuunnittelijan mallin tietosisältö	Tuotemallipalvelimen tietosisältö rakennemallista
Luonnosmalli(RAK) / Alustava rakennusosamalli(ARK)	Kantavat rakenneosat ilman liitoksia ja tuotetietoa. Mahdollisesti integroitu mitoitusmalli.	Rakennusosien geometriatieto
Rakennemalli (RAK) / Rakennusosamalli (ARK)	Kantavat rakenneosat liitoksineen ja tuotetieto täydentyy. Paikallavalurakenteiden raudoitteet. Osien attribuuttitiedot Mahdollisesti integroitu laskentamalli.	Rakennusosien geometriatieto ja linkit detaljirakenteisiin. Atribuuttitietona liittyvät rakenteet (esim. pellitykset).
Tuoteosamalli (RAK)	Kaikki osien valmistamiseen tarvittavat tiedot.	Tuoteosien geometriatieto ja attribuuttitietoa.
Toteumamalli (RAK)	Yhdistetty tuoteosa- ja rakennemallit sekä As Built-toteumatieto	Tuoteosilla ja geometriatiedolla täydennetty rakennusosamalli.

Liitteessä 1 on esitetty Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -hankkeen osan 1 kuvaus arkitehdin, rakennesuunnittelijan ja TATE-suunnittelijan tietomalleista ja niiden käytöstä. YTV2012 on kehittänyt lisäksi taulukon 4 mukaisen mallinnustarkkuutta kuvaavan jaottelun. Tämä helpottaa antamaan suuntaviivoja tietomallin sisällöstä helpolla ja lyhyellä tavalla, esimerkiksi tietomalliselosteen yhteydessä.

Taulukko 4. YTV2012:n määrittämät mallinnuksen tarkkuustasot. (BuildingSMART Finland 2012d)

Mallinnuksen tarkkuustaso	Mallinnuksen tarkkuustason kuvaus
1	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein.
2	Mallinnetaan perusgeometrian osalta oikein niin, että rakenteiden kokonaismäärät selviävät mallista. Rakenteet elementoidaan.
3	Mallinnetaan tyyppielementit ja tyyppipaikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Teräskokoonpanoista tehdään betonielementtejä vastaavat mallikokoonpanot liitoksineen (liittopilareihin myös raudoitteet). Muut osat mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen ja valutarvikkeeseen.
4	Mallinnetaan elementit ja paikallavalut geometrian ja sijainnin osalta oikein liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Teräskokoonpanot mallinnetaan konepajatasolle (liittopilareihin myös raudoitteet). Paalutarkkeet siirretään malliin ja paalut mallinnetaan toteuman mukaan.

Luonnosvaiheessa on ennen mallintamisen aloittamista tärkeintä määrittää, mihin tietomallia halutaan käyttää ja paljonko sen tekemiseen on käytettävissä aikaa. Aina tietomallipohjainen työskentely ei ole se järkevä tapa, jolla suunnittelua kannattaa siinä vaiheessa tai vaikkapa annetuilla lähtötiedoilla tehdä. Luonnossuunnittelussa yhtenä on tavoitteena vertailla eri ratkaisuvaihtoehtoja ja laatia ehdotus luonnoksineen. Tietomallipohjaisessa tarkastelussa eri ratkaisuvaihtoehtoja varten luodaan yleensä omat mallinsa, mutta useampi malli voidaan luoda, mikäli tasoja ja luokkia käytetään oikein. (Varis & Romo 2004)

Luonnosvaiheessa ja yksinkertaista runkoa tarkasteltaessa tietomalli on yleensä tasoltaan alustava rakennusosamalli, jolloin mallin tarkkuustaso on pienempi. Malliin sisällytetään

vain kantavat rakenteet mallin käyttötarkoituksen mukaisesti ja ne mallinnetaan perusgeometrialtaan ja sijainniltaan oikein. Tiedon siirtyminen on tärkeää, mikäli luonnosvaiheen mallia käsitellään muussa kuin alkuperäisessä ohjelmistossaan. Lohko- ja kerrosjaottelusta voi olla hyötyä, mikäli halutaan tarkastella esimerkiksi kustannuksia osissa tai esitellä vaihtoehtoja visuaalisesti. Luonnosmallille tehdään samoja laadunvarmistustoimenpiteitä kuin muunkin tasoisille malleille. Rakennetyyppien määrittäminen on luonnosvaiheessa tärkeää, koska niitä ei oletettavasti esiinny mallissa. Tietomallinnuksen pohjana toimii systemaattisen ja aukottoman tunnistetiedon käyttäminen. Osat nimetään ja numeroidaan loogisesti palvelemaan käyttötarkoitusta. Sekä tunniste että käyttötarkoitus voidaan määritellä yleisten nimikkeistöjen avulla. (BuildingSMART Finland 2012b)

Myös BEC-hankkeessa määrätään, että yleissuunnitteluvaiheessa rakenneosien paikka ja koko tulee olla totuudenmukainen, jotta alustavaa määrälaskentaa ja yhteensovittamista voidaan toteuttaa. Voi olla myös riittävää mallintaa esimerkiksi asuinrakennuskohteesta ainoastaan yksi kerros. Hankintoja palvelevassa suunnittelussa malli tulee mallintaa hankintakyselyjen edellyttämälle tasolle ja laatia vaadittavat asiakirjat. Tyypielementit tulee mallintaa toteutussuunnittelun tarkkuustasolle. Toteutussuunnittelussa malliin tulee mallintaa kaikki tieto rakennuksen valmistusta varten. Kaikkea tietoa ei ole järkevää laittaa tietomalliin, esimerkiksi elementin viisteet ja ansaat voidaan ilmaista elementtikuvissa tekstinä.

Jo luonnosvaiheen mallia voidaan käyttää määrätiedon tuottamiseen, mutta joitakin ominaisuustietoja voidaan joutua arvioimaan yksinkertaistuksina (esim. rauditus muodossa kg/m^3). Mikäli suunnittelua tehdään yksityiskohtaisemmin, voidaan tietoa ilmoittaa tarkemmin. Tietomallipohjainen suunnittelu mahdollistaa suunnittelutulosten tehokkaamman hyödyntämisen. Luonnosvaiheessa alustavaa määrätietoa voidaan luoda muun muassa valmisosatoimittajille. (Varis & Romo 2004)

Tietomalli voidaan toimittaa toisille osapuolille joko alkuperäisformaatissa eli suunnitteluhajelmiston omassa tiedostoformaatissa (ns. natiivimalli) tai IFC-tiedostomuodossa. Lähettäessä tietomallin alkuperäisformaatissa, tulee toimittaa myös mallissa käytetyt profiili- ja materiaalikirjastot ja muut vastaavat kirjastot ja tietokannat. Piirustuksia ei perinteisesti toimiteta muuta kuin PDF-tiedostona tai muussa sovitussa formaatissa. (BEC2012-hanke 2014)

Mallintamisen tarkkuustasoon ja tietosisältöön palataan tarkemmin luvuissa 2.4.2 ja 2.4.3 sekä case-tapauksen yhteydessä luvussa 3.4. Case-tapauksessa esitellään tarkemmin kunkin rakenneosan mallintamiseen käytettyjä työkaluja.

2.3 Määrä- ja kustannuslaskenta

Määrä- ja kustannuslaskenta ovat rakentamisessa rakentamiseen liittyvien kustannusten laskentaa erilaisilla menetelmillä. Määrälaskennassa lasketaan erilaisilla määräyksiköillä

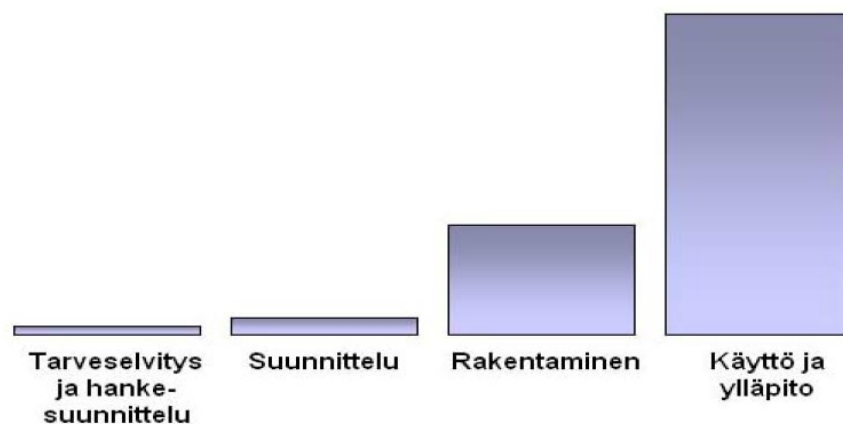
rakennuksen osia tai ominaisuuksia. Kustannuslaskentaa on vaikeaa tehdä ilman min-käänlaista määrälaskentaa, koska karkeimmatkin kustannusarviot riippuvat vähintään rakennuksen laajuudesta ja tiloista. Luvussa 2.3.1 käymme läpi rakennuksen hinnan muodostumista. Luvussa 2.3.2 tutkimme, mitä eri laskentamenetelmiä käytetään hankkeen eri vaiheissa. Luvussa 2.3.3 tutustumme Suomessa käytettäviin Talo -nimikkeistöihin ja niiden rakenteeseen ja luvussa 2.3.4 kustannusarvioon tähtäävään määrälaskentaan.

2.3.1 Rakennuksen hinnan muodostuminen

Haahtela määrittää rakentamisen kustannuksia aiheuttaviksi tekijöiksi:

- päätös tilantarpeesta ja siellä harjoitettavasta toiminnasta
- olosuhteet
- valitut suunnitteluratkaisut
- ominaisuudet suhteessa korjattavaan rakennukseen (korjausrakentamisessa)
- hankkeen toteuttamismuoto ja -aikataulu. (Haahtela 2015)

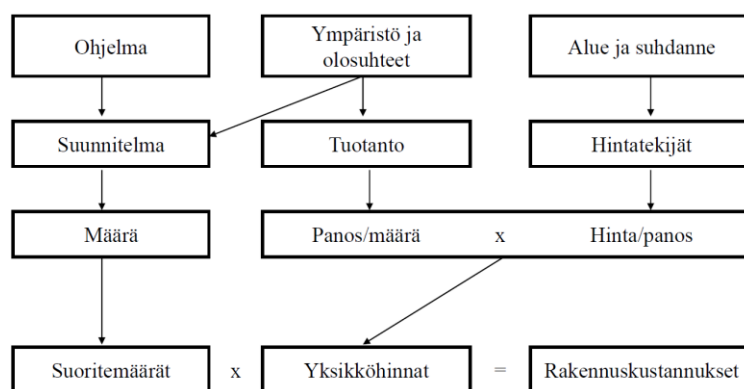
Pelkät rakentamisen kustannukset ovat usein hankkeen pääasiallisena tarkastelukohteena, mutta kustannuksiin liittyy myös vahvasti rakennuksen koko elinkaaren aikaiset kustannukset, kuten kuvasta 10 nähdään. Jollakin rakentamisen aikana tehdyllä kustannuspäätöksellä voi olla negatiivisia tai positiivisia kustannusvaikutuksia rakennuksen käytön aikana, esimerkiksi lämmöneristys. Lämmöneristyksen vähentäminen voi vähentää aiheutuvia kustannuksia rakentamisen aikana, mutta aiheuttaa suurempia lämmityskustannuksia rakennuksen käyttöönoton jälkeen. Kaikki rakentamisen kannalta kustannustehokkaat valinnat eivät siis välttämättä ole rakennuksen koko elinkaaren kannalta kustannustehokkaita. Myös toiminnalla voi olla taloudellinen vaikutus käytön aikana, joka vaikuttaa esimerkiksi tilojen sijoitteluun rakennuksessa. Rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuminen kannattaa myös joissain tapauksissa ottaa huomioon jo suunnittelussa. (Hietanen 2005, s. 57)



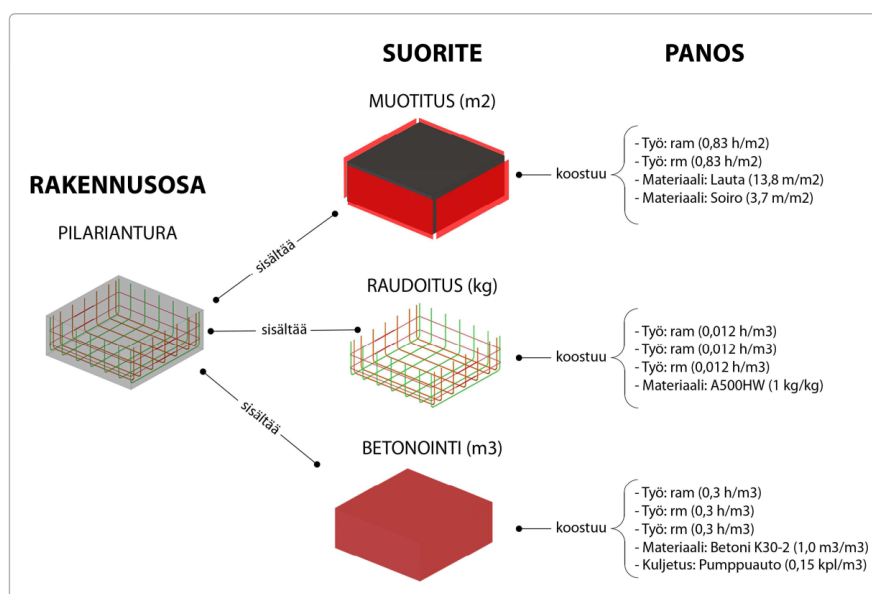
Kuva 10. Rakennuksen elinkaarikustannusten jakautuminen. (2004)

Kustannuksia on usein tarve tarkastella erilaisina kokonaisuuksina. Kokonaiskustannuksiksi mielletään kiinteistön hankinta- ja rakennuskustannukset eli kaikki toimintavalmiin rakennuksen kustannukset, jossa kiinteistön hankintakustannukset sisältävät tontin kustannukset ja siitä aiheutuvat verot. Rakennuskustannukset sisältävät puolestaan rakentamisen ja rakennuttamisen kustannukset. Rakentamiskustannukset koostuvat erilaista resursseista kuten materiaaleista, työstä, energiasta ja pääomasta sekä edellä mainittujen kustannuksista. Hankkeeseen kustannuseroja aiheuttavat erot tilaohjelmassa, rakennuspaikan olosuhteet, erilaiset suunnitteluratkaisut, rakennuttamisen toteuttaminen, tuotannon ratkaisut ja muut hintatekijät. (RT 10-11226 2016)

Iso osa rakennuksen kustannuksista muodostuvat tarkimmillaan suoritteista eli yksikömääristä ja niihin liittyvistä panoksista eli työstä kuvan 11 kaavion mukaan. Kuten jo edellä mainittiin, kustannuseroja aiheuttavat minkä tahansa alla mainitun kohdan erot. Kuvassa 12 on esitetty esimerkkinä pilarianturan jakaminen eri suoritteisiin ja panoksiin.



Kuva 11. Kustannusten muodostuminen. (Kivistö 2015)

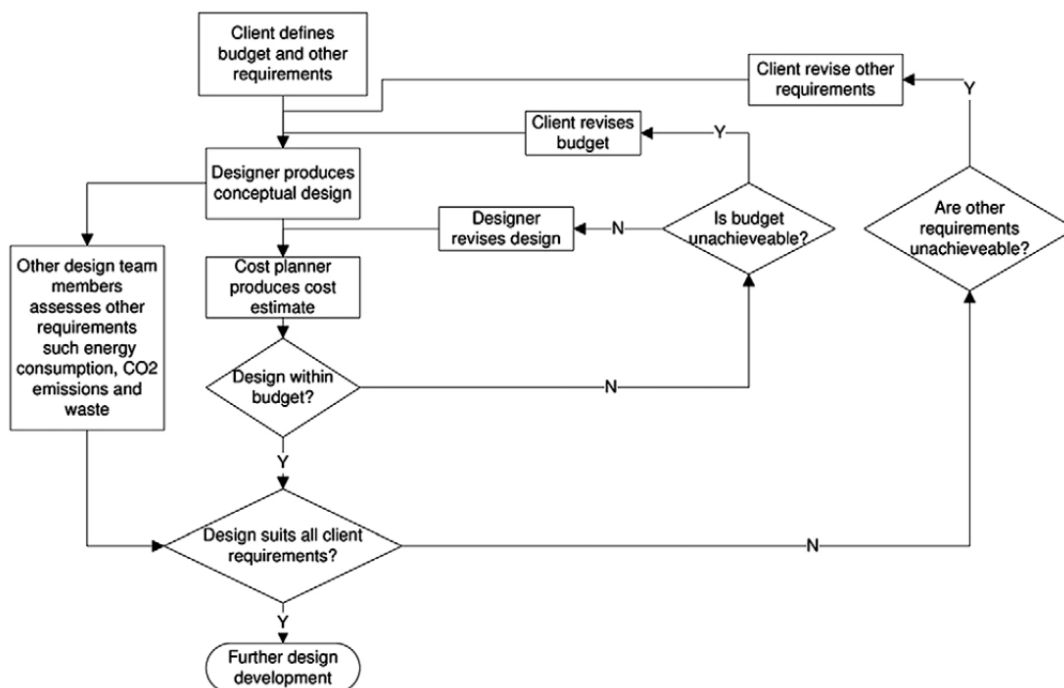


Kuva 12. Pilarianturan jaottelu suoritteisiin ja edelleen panoksiin. (Teittinen 2009)

Näin tarkkaa laskentaa ei kuitenkaan voida eikä ole järkeä usein tehdä hankkeen alkuvaiheissa, vaan kustannusten arviointia toteutetaan erilaisilla, hankkeen eri vaiheisiin soveltuvilla menetelmillä. Kustannuslaskentamenetelmiä käydään läpi tarkemmin luvussa 2.3.2. Luvussa 2.3.3 käydään läpi, miten nimikkeistöt osittelevat rakennuksen kustannuksia.

2.3.2 Kustannuslaskentamenetelmät hankkeen eri vaiheissa

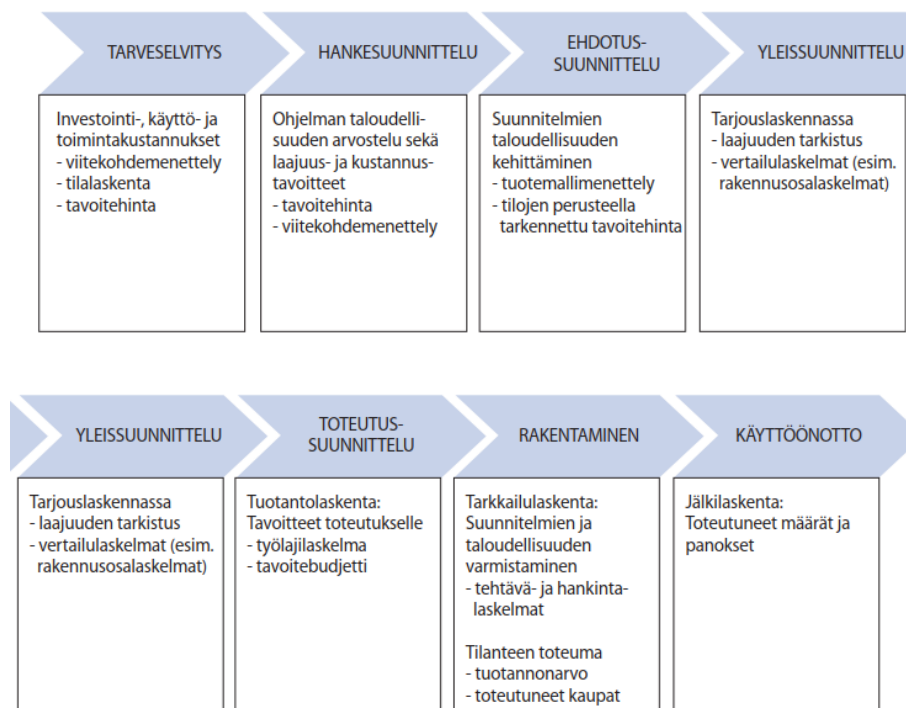
Kustannuslaskentaprosessi on yksinkertaistettuna kuvan 13 mukainen ja se pätee riippumatta kustannuslaskentamenetelmästä. Asiakas määrittää hankkeen tavoitteet ja budjetin, jonka perusteella suunnittelija tekee suunnitteluratkaisun. Suunnitelman perustella määritetään kustannusarvio. Mikäli kustannusarvio ei ole budjetin mukainen, suunnitelmia voidaan joutua muuttamaan tai budjettia harkitsemaan uudelleen. Suunnitelman tulee täyttää sekä asiakkaan määrittämät tavoitteet, mutta myös muita alitavoitteita, kuten energiatehokkuus ja viranomaisten määräykset. Tavoitteita ja suunnitelmia muutetaan, mikäli suunnitteluratkaisu ei täytä vaatimuksia. Budjetin ja tavoitteet täyttävää suunnitteluratkaisua voidaan kehittää eteenpäin. (Cheung et al. 2012)



Kuva 13. Kustannuslaskentaprosessi yksinkertaistettuna. (Cheung et al. 2012)

Kustannuslaskentaa on järkevää toteuttaa hankkeen eri vaiheisiin soveltuvilla laskentamenetelmillä. Menetelmän valintaan vaikuttavat muun muassa käytettävät lähtötiedot, laskennan tarkkuustavoitteet, käytettävä aika ja laskennan tarkoitus. Kustannuslaskentamenetelmiä tai kustannuslaskennassa hyödynnettäviä menetelmiä ovat muun muassa (kuvasta 14 poimittu)

- tilaohjelma ja siitä riippuva tavoitehintamenettely
- viitekohdemenettely
- rakennusosalaskenta
- työlajilaskenta. (RT 10-11226 2016)



Kuva 14. Kustannuslaskenta hankkeen eri vaiheissa. (RT 10-11226 2016)

Tarveselvitysvaiheessa pyritään saamaan selville vaatimukset tilantarpeista, rakennuttajan tavoitteet ja ratkaisuvaihtoehdot ja niiden kustannusvaikutukset. Kustannuslaskentamenetelminä tässä vaiheessa toimivat parhaiten viitekohdemenettely ja tilalaskenta.

Viitekohdemenettelyssä arvioitavaa hanketta vertaillaan vastaavan, jo toteutuneen kohteen, kustannuksiin. Usein voidaan muodostaa tunnuslukuja, joiden avulla kustannuksia suhteutetaan suunniteltavaan kohteeseen. Tällainen menettely on hyvin toimiva esimerkiksi asuinrakennuskohteissa, joissa kohteet voivat olla todella samankaltaisia. Laskennassa tulee kuitenkin muistaa ottaa huomioon esimerkiksi mahdolliset kustannustasomuutokset rakentamisajankohdan mukaan. (RT 10-11226 2016) Viitekohdemenettelyssä lähtötiedoksi voi riittää kohteen laajuustiedot, kunhan rakennus on ajateltu toteutettavaksi samalla tavalla kuin referenssinä toimivassa kohteessa. Luotettava viitekohdemenettelyn hyödyntäminen vaatii hyviä valmistuneiden kohteiden kustannushistoriatietoja ja arviointikykyä laskijalta.

Tilalaskennassa hankkeen tiloja määritetään tilamääreiden perusteella, esimerkiksi muodossa $\text{m}^2/\text{hlö}$ tai m^2/tila tai suhteellisina prosentiosuuksina koko rakennukselle varatusta neliömäärästä. Tilat voidaan hinnoitella niiden käyttötarkoituksen perusteella ja näin muodostaa arvio koko rakennuksen kustannuksille. Tilojen hinnat saattavat sisältää

kaikki hankkeen kustannukset tai kokonaiskustannukset voidaan joutua laskemaan erikseen. (RT 10-11226 2016) Tilalaskennassa lähtötietona toimii rakennuksen laajuus, käyttötarkoitus ja käyttäjät. Tietynlaisille rakennuksille on myös tyypillisiä tilajakaumia, jossa voidaan hyödyntää prosenttiosuuksia rakennuksen kokonaispinta-alan ollessa tiedossa.

Sekä viitekohdemenettelyyn, että tilalaskennan tuloksena saadaan tavoitehinta. Laskentaa saatetaan toteuttaa myös käänteisessä järjestyksessä, jossa kustannustavoite on määritetty ja määritetään, millaisen rakennuksen käytettävillä varoilla voidaan rakentaa. Tarveselvitysvaiheessa tulisi selvittää kannattavuustavoitteet, laatu-, laajuus-, kustannus- ja aikataulutavoitteet ja laaditaan alustavat investointi- ja ylläpitolaskelmat, tuottoanalyysit ja kassavirtalaskelmat. (RT 10-11226 2016)

Varhaisen vaiheen kustannuslaskentaa tulee ajatella myös pitkälti kustannusohjauksen kannalta. Laskennan tuloksena on tärkeää saada hinta toteutuskelpoiselle vaihtoehdolle. Laskennan avulla tulisi määrittää kustannustavoite, johon on realistista päästä annetuilla lähtötiedoilla. Muutoksia pyritään tekemään kustannusarvion sisällä, jolloin tavoitehintaan voidaan päästä hieman erilaisellakin ratkaisulla kuin, mitä on alussa suunniteltu. Kustannuslaskenta ei ole pelkästään rakennuksen hinnan totuudenmukaista ja tarkkaa määrittämistä, vaan myös suunnittelun ohjausta haluttuun ja realistiseen suuntaan. Tästä syystä suunnittelijoille tulee viestittää suunnitteluratkaisujensa kustannuksista, jotta suunnittelua voidaan tehdä tavoitteen mukaisesti.

Hankesuunnitteluvaiheessa määritetään rakennuksen kustannustavoite, jota käytetään kustannusohjauksessa. Määrittäminen perustuu hankkeen laajuuteen, laatuun ja aikatauluun. Laskenta on sitä tarkempaa, mitä tarkemmin ja selkeämmin tavoitteet asetetaan. Hankesuunnitteluvaiheessa käytetään yleensä samoja laskentamenetelmiä kuin tarveselvitysvaiheessa eli tilaohjelmaa hyödyntävää tavoitehintamenettelyä ja viitekohdemenettelyä. Hankesuunnitteluvaiheessa tavoitteena on määrittää hankkeelle tavoitekustannus, laatia budjetti ottaen huomioon riskit ja sivukulut, asettaa investoinnin tavoitteet ja puitteet sekä hyväksyä tuottotavoitteet. (RT 10-11226 2016)

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tutkitaan, millä keinoilla hankesuunnitteluvaiheessa määritettyyn kustannustavoitteeseen päästään. Tässä vaiheessa tutkitaan yleensä useampia rakenneratkaisuja, koska kustannuseroja voi syntyä suunnitelmien tehokkuuseroista ja rakennusosien määrä- ja hintaeroista. Käsitys yleissuunnitteluratkaisujen kustannusvaikutuksista on tärkeää tässä vaiheessa, koska pienemmillä suunnitelmamuutoksilla ei välttämättä myöhemmässä vaiheessa pelasteta ylittyvää budjettia. Suunnitelmavaihtoehtoja vertaillaan tyypillisesti tavoitehintamenettelyä, tietomalli- ja rakennusosalaskentamenetelmiä käyttäen. (RT 10-11226 2016)

Rakennusosa-arviossa kustannuksia tarkastellaan aikaisempaa tarkemmalla tasolla. Yksittäiset rakennusosat hinnoitellaan osasta tiedettävien ominaisuuksien ja mitattujen tie-

tojen perusteella. Rakennusosamenettelyssä rakennuksen muoto, tilojen sijoittelu ja rakenteiden päätyypit tulee olla selvillä. Tämä koskee kaikkia vertailtavia rakennevaihtoehtoja. Ei ole tarkoituksen mukaista verrata kahta toisistaan poikkeavaa, eri laskentamenetelmillä (tilalaskennalla ja rakennusosa-arviolla) laskettua ratkaisua toisiinsa, koska niiden luonti on tapahtunut luultavasti eri lähtötiedoilla ja eri tarkkuustasolla. Vertailuun kelpaa vain kaksi samalla laskentamenetelmällä tehtyä kustannusarviota. (Haahtela 2015)

Yleissuunnitteluvaiheessa mahdollisten suunnitelmamuutosten kustannusvaikutuksia selvitetään ja muokataan laskentaa niiden mukaisesti. Yleissuunnitteluvaiheessa käytetään tyypillisesti rakennusosalaskentaa. Toteutussuunnitteluvaiheessa on usein tarpeellista selvittää tarkemmalla tasolla kustannusten kertymistä ja rakentamisen toteuttamista. Toteutussuunnitelmia verrataan rakennusosalaskentaan tai tarkempaan suoriteperusteiseen laskentaan, jossa nähdään tarkemmin määrät, työmenekit, materiaalit ja alihankinnat ja niiden hinnat. Toteutussuunnitteluvaiheessa luodaan myös tuotantoa palvelevia hankintapaketteja. Rakentamisen aikana kustannuksia seurataan vertailemalla toteutuneita kustannuksia tavoitteisin ja reagoimalla tarvittaessa. Rakennuksen valmistumisen jälkeen rakennuksen kustannuksista tehdään jälkilaskenta, jolla voidaan mitata hankkeen onnistumista ja saada tärkeää tilastotietoa tulevia projekteja varten. (RT 10-11226 2016)

2.3.3 Nimikkeistöt

Jotta määrä- ja kustannuslaskennan kattavuus voidaan todeta, on tärkeää, että rakennuksen eri osat määritellään ja numeroidaan yhtenäisellä tavalla, sekä sovitaan yhteisesti käytettävistä määrälaskennan yksiköistä. Määrälaskentaa tai kustannuslaskentaa ei välttämättä tee sama osapuoli kuin mallinnusta tai piirtämistä, joten nimikkeistöt toimivat tiedonsiirtokanavina. Eri osapuolten tulee käyttää samaa nimikkeistöä, jotta osien identifiointi on mahdollisimman aukotonta. (Karstila & Serén 2005b)

Määrä- ja kustannuslaskennan perustana toimivat erilaiset nimikkeistöt, jotka ovat Suomessa käytettäviä kansallisia, rakennusalan yhteistyönä laadittuja rakennushankkeen tietojen erittelyjä. Uusimmassa Talo 2000 -nimikkeistössä kuvataan Talo-nimikkeistöjen tavoitteet ja periaatteet muun muassa seuraavasti:

- nimikkeistön tulee toimia tiedonsiirron välineenä hankkeen ja kiinteistönpidon osapuolten välillä
- nimikkeistön tulee ottaa huomioon kattavasti niin tuotannon, suunnittelun, omistamisen kuin ylläpidon
- nimikkeistön tulee kattaa koko rakennuksen ja sen osien elinkaaren
- pitää luokituksen päänäkökulmana kustannuksia
- hankkeen kustannusten tulee kuvautua jännöksettömästi
- erittely tulee olla tehty siten, että osanimikkeistöt ovat toisistaan riippumattomia
- nimikkeistö ei sido toteutustapaa

- nimikkeistö tukee tietomallipohjaista työskentelyä. (Talo-nimikkeistötyöryhmä 2008)

Nimikkeistöjä käytetään

- rakennustapaselostuksissa, rakennusselityksissä ja joissain tapauksissa suunnitelma-asiakirjojen luetteloinnissa
- rakennuttamistehtävissä, kuten määrä- ja kustannuslaskennassa sekä yksikköhin-
taluetteloissa
- rakennusyhtiön hankelaskennassa
- rakennustuotannon tehtäväsuunnittelussa
- yleisissä ja julkisissa tiedostoissa, kuten laatumääräyksissä
- julkaisuissa ja tutkimuksissa tiedon sisällön rajaamiseen. (Talo-80 -ryhmä 1984, s. 18-19)

Suomessa talonrakennuksessa käytössä olevia tai käytöstä poistuneita nimikkeistöjärjestelmiä ovat Talo 70-, Talo 80-, Talo 90- ja Talo 2000 -nimikkeistöt. Talo 70 -nimikkeistö on näistä vanhin ja Talo 2000 -nimikkeistö tuorein. Talo 70- ja Talo 80 -nimikkeistöt eivät ole enää laajemmin saatavilla, mutta Talo 80 -nimikkeistö on edelleen suosituin kustannuslaskennassa käytettävä nimikkeistö. Talo -nimikkeistöjen lisäksi rakennuslalla on käytössä myös Infra -nimikkeistö, Kiinteistönpitonimikkeistö ja LVI -nimikkeistö. Tässä työssä esitellään Talo 80 -nimikkeistö sen ollessa edelleen suosituin kustannuslaskennassa, sekä tuorein Talo 2000 -nimikkeistö, joka soveltuu parhaiten tietomallien kanssa käytettäväksi. Nimikkeistöt ovat tuntematon järjestelmä rakennesuunnittelijan näkökulmasta, joten tässä työssä nimikkeistöjen rakenne käydään läpi melko tarkasti. Arkkitehti käyttää työssään nimikkeistöä laajemmin kuin rakennesuunnittelija. Nimikkeistöä ahkerimmin käyttävät rakennustuotannon osapuolet.

Talo 80 -nimikkeistö

Talo 80 -nimikkeistö jakaa hankkeen kustannukset karkeasti perustamiskustannuksiin, hankintakustannuksiin ja rakennuskustannuksiin. Talo 80 -nimikkeistö koostuu neljästä osanimikkeistöstä:

- Rakentamisosa RO
- Suoritus SUO
- Kustannuslaji KL
- Kustannuserä KE. (Talo-80 -ryhmä 1984)

Rakennusosanimikkeistö jaottelee rakennuksen ajallisesti ja rakenteellisesti samankaltaisiin kokonaisuuksiin ja erillisiin kustannuslaskentakohteisiin. Suoritusnimikkeistö jakaa rakennustyöt työläjien mukaan rakentamisosalla tarkennettuna. Kustannuslajinimikkeistö jakaa puolestaan kustannukset syntymistapansa mukaan erilaisiin kustannuslajeihin. Kus-

tannuseränimikkeistö jakaa kustannukset sopimus pohjaisesti kustannuseriin. Näistä nimikkeistöistä rakennusosa-, suoritus- ja kustannuslajinimikkeistö muodostavat yhdessä nimikkeistön perusrakenteen, jolle kustannuseränimikkeistö on vain toinen esitystapa. Kustannusarviota tehtäessä käsittelyjärjestys on rakentamisosa – suoritus – kustannuslaji, kun kustannuksia lasketaan suoritetasolle asti. (Talo-80 -ryhmä 1984, s. 9)

Talo 80 -nimikkeistö jakaa rakennuksen kustannuserittäin (KE) seuraavasti:

- A 0. RAKENNUTTAJAN YLEISKULUT
- B RAKENNUSKUSTANNUKSET
 - 1. Rakennuttajan kustannukset
 - 2. Rakennustekniset työt
 - 3. LVI-työt
 - 4. Sähkötyöt
 - 5. Erillishankinnat
- C 6. TONTTIKUSTANNUKSET
- D TOIMINTAINVESTOINNIT
 - 7. Toiminnan koneet ja laitteet
 - 8. Irtaimisto
 - 9. Toiminnan käynnistämiskustannukset. (Talo-80 -ryhmä 1984)

Talo 80 -nimikkeistön mukaan rakennuksen kustannukset koostuvat siis rakennuttajan yleiskuluista, itse rakennuskustannuksista, tonttikustannuksista ja toimintainvestoinneista. On hyvä huomata, että nimikkeistö ei ota huomioon käytön ajan kustannuksia vaan keskittyy nimenomaan rakennuksen valmistamisen kustannuksiin.

Rakentamisosanimikkeistön (RO) pääryhmät eli rakennusvaiheet ovat

- 0. Rakennuttajan kustannukset
- 1. Maa- ja pohjarakennus
- 2. Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet
- 3. Runko- ja vesikattorakenteet
- 4. Täydentävät rakenteet
- 5. Pintarakenteet
- 6. Kalusteet, varusteet ja laitteet
- 7. Konetekniset työt
- 8. Työmaan käyttökustannukset
- 9. Työmaan yhteiskustannukset. (Talo-80 -ryhmä 1984)

Pääryhmiä 8 ja 9 ei jaeta rakennusosille. Rakentamisosanimikkeistöä voidaan tarkentaa lisäpääätteillä 0 ja 9. 0-päätteiset on varattu kuvaamaan rakennusosille erittelemätöntä yleistä tietoa ja 9-päätteiset hankekohtaisiin erityistarkoituksiin. Tästä esimerkkinä ovat *20 Perustukset erittelemättä*. Rakentamisosanimikkeistö on kuvattu taulukkomuodossa liitteessä 2. (Talo-80 -ryhmä 1984)

Suoritusnimikkeistön (SUO) pääryhmät eli työlajit ovat

1. Muottityö
2. Raudoitus ja betonityö
3. Metallityö
4. Muuraus, rappaus ja laatoitus
5. Elementtityö
6. Puutyö ja levytyö
7. Lämmöneristys ja ääneneristys
8. Vedeneristys ja kosteudeneristys
9. Muut työt. (Talo-80 -ryhmä 1984)

Saman lailla kuin rakentamisosanimikkeistössä, päätteet 0 ja 9 on varattu erittelemättömille ja yleisille osille. Suoritusnimikkeistö on kuvattu taulukkomuodossa liitteessä 3. (Talo-80 -ryhmä 1984)

Kustannuslajinimikkeistön (KL) pääosat ovat:

1. Työkustannus
2. Ainekustannus
3. Alihankintakustannus
4. Omapalvelukustannus
5. Muut kustannukset.

Rakentamisos- ja suoritusnimikkeistön yhdistelmästä saadaan muodostettua suoritteet, esimerkkinä näin:

Rakentamisos (RO):		Suoritus (SUO):	
2	Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet	1	Muottityö
21	Anturat	11	Lautamuottityö
Suorite (RO+SUO):			
21 1	Anturoiden muottityö		
21 11	Anturoiden lautamuottityö		

Rakennusosasta ja suorituksesta koostuvilla numerosarjoilla voidaan tunnistaa tarkasti, mistä rakennusosasta ja suoritteesta on kyse. Talo 80 -nimikkeistön määrälaskentaohje sisältää ohjeistukset suoritteiden ja rakennusosien mittaukselle. Suoritteet jakautuvat edellä mainittuihin kustannuslajeihin.

Talo 2000 -nimikkeistö

Talo 2000 -nimikkeistö julkaistiin vuonna 2008 uudistuksena vanhoille Talo 90- ja Talo 80 -nimikkeistölle. Uusi nimikkeistö ottaa erityisesti paremmin huomioon tietomallipohjaisen työskentelyn ja on luonnollisesti edeltäjiään laajempi ja yksityiskohtaisempi.

Talo 2000 -nimikkeistöön sisältyvät seuraavat osanimikkeistöt:

- tilanimikkeistö (huoneistotyyppit ja tilatyyppit)
- hankenimikkeistö (rakennus- ja tekniikkaosat, hanke-, kiinteistö-, ja käyttäjätehtävät sekä hankevaraukset)
- tuotantonimikkeistö (tuotantonimikkeet)
- panoslajit (työpanos, rakennustuotteet, aliurakka, erityiskalusto ja työmaakate)
- rakennustuotanimikkeistö (rakennustuotteet)
- kalustonimikkeistö (rakennuskalusto). (Talo-nimikkeistötyöryhmä 2008)

Taulukossa 5 on esitetty Talo 2000 -nimikkeistön eri osanimikkeistöjen käyttötarkoitus ja sisältö. Tekniikkanimikkeistöä ei vielä julkaistu sen keskeneräisyyden vuoksi, joten julkaisuun asti käytetään vanhoja LVI- ja sähkönimikkeistöjä. (Talo-nimikkeistötyöryhmä 2008)

Taulukko 5. *Talo 2000-nimikkeistön rakenne, käyttö ja sisältö. (Talo-nimikkeistötyöryhmä 2008)*

Luokittelun kohde nimikkeistöt ja osanimikkeistöt	Käyttötarkoitus	Käsitteellinen sisältö	Käyttö asiakirjoissa
Tilat <i>tilanimikkeistö</i>	huoneistojen, tilaryhmien ja tilojen erittely	tilojen erittely tilojen ominaisuudet tilahinnat	tilaluettelo tilaselostus tilahintalaskelma taloselostus
Rakennus-, tekniikkaosat <i>hankenimikkeistö</i>	rakennuksen erittely fysisiksi osiksi	rakennusosien erittely rakennusosaratkaisut rakennusosahinnastot	kiinteistöseloste rakennuslaskelma tekniikkaselostus
Hanketehtävät <i>hankenimikkeistö</i>	hanketehtävien erittely	tehtäväerittely tehtävien hinnasto	rakennuslaskelma tarjouslaskelma hankelaskelma
Hankinnat ja työt <i>tuotantonimikkeistö</i>	toimitusten ja ammattialojen erittely	hankinta- ja tehtäväluettelo	tarjouslaskelma tehtävälaskelma tarkkailulaskelma työselostukset
Panokset työpanokset <i>tuotantonimikkeistö</i>	työn erittely	tehtäväluettelo työmenekki- ja työn hintatiedosto	tehtävien tavoite- ja tarkkailulaskelma palkkalaskenta
rakennustuotteet <i>rakennustuotanimikkeistö</i>	rakennustuotteiden erittely	hankintaluettelo ja hankintalaskelma rakennustuotehakemistot ja -hinnastot	hankinta-asiakirjat
kalustopanokset <i>kalustonimikkeistö</i>	kaluston erittely	kalustosuunnitelmat ja laskelmat kalustohakemistot ja -hinnastot	hankinta-asiakirjat

Tilanimikkeistö sisältää huoneistotyyppinimikkeistön ja tilatyyppinimikkeistön. Huoneistotyyppinimikkeistön pääosat (A-M) ovat:

- A. Asunnot
- B. Vapaa-ajan asunnot
- C. Liikehuoneistot
- D. Toimistohuoneistot
- E. Liikenteen huoneistot
- F. Hoitoalan huoneistot

- G. Kokoon tumishuoneistot
- H. Opetushuoneistot
- I. Teollisuus huoneistot
- J. Varastohuoneistot
- K. Puolustus- ja pelastustoimen huoneistot
- L. Maatalouden huoneistot
- M. Muut huoneistot

Tilatyypinimikkeistön pääosat (1-9) ovat:

1. Asuin- ja majoitustilat
2. Hallinto- ja liiketilat
3. Opetus- ja tutkimustilat
4. Huoneistotyyppikohtaiset erityistilat
5. Säilytystilat
6. Ruokailu- ja keittiötilat
7. Sosiaali- ja virkistystilat
8. Yhteistilat
9. Liikenne- ja tekniset tilat

Hankenimikkeistön pääosat (1-6) ovat:

1. Rakennusosat
2. Tekniikkaosat
3. Hanketehtävät
4. Kiinteistötehtävät
5. Käyttäjätehtävät
6. Hankevaraukset

Taulukosta 6 näkee tuotantonimikkeistön rakenteen ja sen poikkeavuudet verrattuna Talo 80 -nimikkeistön suoritustonimikkeistöön (SUO). Osa Talo 80 -nimikkeistön kohdista on poimittu rakentamisosanimikkeistöstä (RO) (merkitty vihreällä).

Taulukko 6. Talo 2000-tuotantonimikkeistö verrattuna Talo 80-suoritustonimikkeistöön. (Ratu T-431 pohjalta)

Talo 2000 tunnus	TUOTANTONIMIKKEISTÖ otsikko	Talo 80 tunnus	SUORITUSNIMIKKEISTÖ otsikko
1	PURKAMINEN JA SÄILYTTÄMINEN		
11	Rakennusosien purkaminen		
12	Haitallisten aineiden purkaminen		
13	Rakennusten siirtäminen		
			<i>Talo 80 Rakentamisosanimikkeistöstä</i>
2	MAARAKENTAMINEN		
21	Esirakentaminen		<i>1 Maa- ja pohjarakennus</i>
22	Maarakentaminen		<i>11 Raivaus ja purku</i>
23	Kalliorakentaminen		<i>12 Maakaivu</i>
			<i>13 Louhintu</i>

24 Pohjarakentaminen	14 Pohjarakenteet ja pohjanvahvistus 15 Salaojat ja putkijohdot 16 Täyttö ja tiivistys
25 Kuivatus	
3 ALUERAKENTAMINEN 31 Kivi- ja kiviainespäällystäminen 32 Puupäällystäminen 33 Asfaltointi 34 Erikoispäällystäminen 35 Viherrakentaminen 36 Aluevarustaminen	17 Rakentamisalueen pintarakenteet 18 Ulkovarusteet
4 BETONIRAKENTAMINEN 41 Betonirunkorakentaminen 42 Betonielementtirakentaminen 43 Erikoisbetonirakentaminen 44 Pintabetonointi	1 Muottityö 2 Raudoitus ja betonityö 22 Betonointi 51 Betonielementtityö 26 Pintabetonityö 23 Betonoinnin jälkityö, sis. 41 24 Betonipintojen hionta, sis. 41
5 KIVIRAKENTAMINEN 51 Muuraaminen 52 Kiviverhoilu 53 Tiilikattaminen 54 Laatoitus	4 Muuraus, rappaus ja laatoitustyö 41 Tiilimuuraus 43 Harkkomuuraus ja ladonta 91 Luonnonkivityö 48 Laatoitus
6 METALLIRAKENTAMINEN 61 Metallirunkorakentaminen 62 Metallielementtirakentaminen 63 Metallivalmisosarakentaminen 64 Täydentävä metallirakentaminen 65 Metallilevyrakentaminen	3 Metallityö ja peltityö 33 Teräsrunkotyö 53 Metallielementtityö 35 Muototankotyö 36 Peltityö 35 Muototankotyö
7 PUURAKENTAMINEN 71 Puurunkorakentaminen 72 Puuelementtirakentaminen 73 Puuvalmisosarakentaminen 74 Levyrakentaminen 75 Puupintarakentaminen	6 Puutyö ja levytyö 61 Puurunkotyö 56 Puuelementtityö 62 Levytyö 63 Puuverhous 65 Rakennuspuusepäntyö
8 LASIRAKENTAMINEN 81 Lasittaminen 82 Erikoislasirakentaminen	92 Lasilevytyö
9 ERISTÄMINEN 91 Lämmön- ja ääneneristys 92 Vedeneristys 93 Palosuojaus 94 Sauma	7 Lämmöneristys ja ääneneristys 8 Vedeneristys ja kosteudeneristys
10 PINTARAKENTAMINEN 101 Rappaus 102 Tasointi 103 Maalaus ja tapetointi 104 Mattopäällystys 105 Massapäällystys 106 Muu pintarakentaminen 107 Listoitus	45 Ohutrappaus 46 Rappaus 47 Tasointi 95 Maalaus ja tapetointi 93 Mattotyö 66 Listoitus

11 VARUSTAMINEN	
111 Heloitus ja lukitus	67 Heloitus
112 Kiintokalustaminen	
113 Laiteasentaminen	
114 Vakiovarustaminen	<i>Talo 80 Rakentamisosanimikkeistä</i>
12 LÄMPÖ-, VESI- JA VIEMÄRIRAKENTAMINEN	<i>71 Lämpö-, vesi- ja viemäriyöt</i>
13 ILMANVAIHTORAKENTAMINEN	<i>72 Ilmanvaihtotyöt</i>
14 SÄHKÖRAKENTAMINEN	<i>73 Sähkötyöt</i>

Talo 2000 -nimikkeistön panoslajit (1-5) ovat:

1. Työpanos
2. Rakennustuotteet
3. Aliurakkapanos (johdettu panoslaji, joka sisältää kaikkia muita peruspanoksia)
4. Kalusto
5. Yritystehtävät

Rakennustuotenimikkeistön pääosat (1-8) ovat:

1. Maa- ja aluerakennustuotteet
2. Runkorakennustuotteet
3. Täydentävät rakennustuotteet
4. Pintatuotteet
5. Rakennusvarusteet ja kalusteet
6. Talotekniikkatuotteet
7. Rakennuskalusto ja -välineet
8. Kiinteistön hoito- ja toimintavarusteet

Kalustonimikkeistön pääosat (1-9) ovat:

1. Maanrakennuskalusto
2. Betonityökalusto
3. Muuraus- ja kivityökalusto
4. Metallityökalusto
5. Puu- ja levytyökalusto
6. Eristyskalusto
7. Pintatyökalusto
8. Varustamiskalusto
9. Työmaanyleiskalusto

Talo 2000 -nimikkeistössä laskentaa tehdään tyypillisesti rakennusosa-arviona tai suoraan tuotantolaskelmana.

Talo 2000 -nimikkeistö kattaa yhä monimutkaisempia rakennushankkeita ja parantaa erittelyä. Edellä esitellyistä nimikkeistön osista voidaan huomata, että Talo 2000 -nimikkeistö on edeltäjäänsä huomattavasti laajempi. Nimikkeistön laajuus osaltaan hankaloittaa ja laajentaa jo ennestään monimutkaista kustannuslaskentaa. Tämä lienee yksi syy, miksi uuden nimikkeistön käyttöönotto on ollut hidasta.

2.3.4 Kustannusarvioon tähtäävä määrälaskenta

Perinteiselle määrä- ja kustannuslaskentaprosessille on tyypillistä laskentaan tarvittavan tiedon hajaantuminen eri tietolähteisiin ja eri muotoihin, jolloin kaiken tiedon hyödynnettävyys on haastavaa ja yksiselitteisyys kyseenalaistettavissa. Perinteisen määrälaskennan tarkkuus on vahvasti riippuvainen laskijan mittaustarkkuudesta ja huolellisuudesta. Virheiden ja yksinkertaistuksien paikantaminen voi olla hankalaa, koska vain laskija on täysin tietoinen kaikista tekemistään valinnoista. Kaikissa kustannuslaskentamenetelmissä onkin toistettavuuden kannalta tärkeää, että laskentaan vaikuttavat päätökset on tarkkaan kirjattu. Tiedon hajanaisuuden takia myös kohteeseen perehtyminen voi myös olla hankalaa. (Teittinen 2009) Määrälaskentaa toteutetaan perinteisimmillään manuaalisesti mittatikulla mittaamalla kuvista ja pohjapiirustuksista. Tietokonesovellukset, digitaalinen määrien mittaaminen ja tietomallit ovat tuoneet määrälaskentaan tehokkuutta ja tarkkuutta. (Talo-80 -ryhmä 1982)

Määrälaskennan lähtökohtana on yhteinen käsitys käytettävästä nimikkeistöstä (Karstila & Serén 2005a). Tämä on seikka, joka ei valitettavasti tällä hetkellä näy ainakaan rakennesuunnittelijoiden puolelta, jotka ovat melko tietämättömiä käytettävistä nimikkeistöistä. Tietomalleissa oikeanlainen mallinnustapa ja mallinnustyökalut onneksi useimmissa tapauksissa varmistavat, että määrälaskentaa varten saadaan tarvittavat tiedot. Tulvaisuus näyttää, tulisiko rakennesuunnittelijoiden sisällyttää nimikkeistön käyttöä vahvemmin suunnittelutyöhön tietomallipohjaisen kustannuslaskennan myötä.

Eri rakenneosien yksiköt löytyvät määräluettelo-ohjeista, mutta loppukädessä kustannuslaskijan kustannustiedon yksikkö ja elementtitehtaiden tarvittavat tiedot määräävät osien yksiköt. Useimmiten oikean yksikön arvioi oikein puhtaalla maalaisjärjellä. Kustannuslaskennassa elementit voivat olla kappalehinnoittelulla, mutta kappalehinnan saamiseksi kustannuslaskija voi joutua pyytämään elementtitehtaalta tarjouksen tarkemmilla tiedoilla. Tarjouslaskenta siis määrää elementeistä tarvittavat tiedot. Taulukossa 7 on esitetty eri rakentamisosien suoritteita (RO+SUO) ja niiden yksiköitä Talo 80 -määrälaskentaohjeen mukaan. Talo 2000 -määrälaskentaohje määrää mitattavat yksiköt pitkälti samalla tavalla, mutta osien numerointi ja nimeäminen poikkeavat vanhasta ohjeesta.

Taulukko 7. Esimerkki rakentamisosan ja suoritteen yhdistelmistä Talo 80-nimikkeistön mukaan.

RO	SUO	Selite	Yk-sikkö
2		PERUSTUKSET JA ULKOPUOLISET RAKENTEET	
21		Anturat	
21	1	Anturoiden muottityö	m ²
21	21	Anturoiden raudoitus	kg
21	22	Anturoiden betonointi	m ³
21	26	Anturoiden pintabetonityö	m ²
21	3	Anturoiden metallityöt	kg
21	43	Anturoiden harkkomuuraus tai -ladonta	m ²
21	5	Anturoiden elementtityö	kpl
21	7	Anturoiden lämmöneristys	m ²
21	8	Anturoiden vedeneristys ja kosteudeneristys	m ²
3		RUNKO- JA VESIKATTORAKENTEET	
32		Kantavat väliseinät ja pilarit	
32	1	Kantavien väliseinien ja pilareiden muottityö	m ²
32	21	Kantavien väliseinien ja pilareiden raudoitus	kg
32	22	Kantavien väliseinien ja pilareiden betonointi	m ³
32	23	Kantavien väliseinien ja pilareiden betonoinnin jälkityöt	m ²
32	33	Kantavien väliseinien ja pilareiden teräsrunkotyö	kg
32	36	Kantavien väliseinien ja pilareiden peltityö	jm
32	5	Pilari-elementit	kpl
32	58	Elementtien saumaus	jm
32	8	Kantavien väliseinien ja pilareiden vedeneristys ja kosteudeneristys	m ²
33		Laatat ja palkit	
33	1	Laattojen ja palkkien muottityö	m ²
33	21	Laattojen ja palkkien raudoitus	kg
33	22	Laattojen ja palkkien betonointi	m ³
33	23	Laattojen ja palkkien betonoinnin jälkityöt	m ²
33	26	Laattojen ja palkkien pintabetonityö	m ²
33	33	Laattojen ja palkkien teräsrunkotyö	kg
33	37	Laattojen ja palkkien levytyö	m ²
33	36	Laattojen ja palkkien peltityö	jm
33	5	Palkit	kpl
33	5	Laatta-elementit	m ³

Laskennassa voi tulla tarve ryhmitellä asioita eri tavoilla. Taulukossa 8 on jaoteltuna ulkoseiniä rakenneosatyypeittäin, taulukossa 9 rakenteittain ja taulukossa 10 tuotantonimikkeittäin Talo 2000-nimikkeistön mukaisesti. Määräluettelosta saadaan tyypillisesti tummennettuna oleva määrätieto ja sen sisältämät rakennekerrokset voidaan joutua määrittämään erikseen tämän mittatiedon kautta. Useimmiten esimerkiksi sama neliömäärä koskee muitakin rakennekerroksia, mutta jotain laskentoja voidaan joutua tarkentamaan käsin. Tähän vaikuttaa yleisesti se, missä yksikössä minkäkin rakennustuotteen hinta on ilmoitettu.

Taulukko 8. Tuoterakenteet erittelevä taulukko Talo 2000 -nimikkeistön mukaan. (Suositukset Talo 2000 -nimikkeistön käytöstä tietomalleissa)

TALO 2000 RAKENNELUETTELO RAKENNUSOSATYYPEITTÄIN									
Esimerkkinä ulkoseinä									
HAN	TUO	RTUO	Tyyppi		Lisätiedot			Määrä	yks
					Aukot kpl/m2	kpl	m		
124				JULKISIVUT					
1241				ULKOSEINÄT					
1241			US1	Betoni 180 villa 175 tiili punaruskea 85	180/106	82		1300	m2
1241	42	281	US1	Sisäkuorielementit SK 180	180/106	82		1270	m2
1241	51	231	US1	Ruukintiiili punaruskea 85		66000		1270	m2
1241	51	221	US1	Tiilikuoren teräskannatteet		106		140	m
1241	91	271	US1	Mineraalivilla 125 mm				1250	m2
1241	91	271	US1	Mineraalivilla 50 mm				1250	m2
1241			US2	Betoni 180 villa 175 tiili 130 rappaus harmaa	60/40	122		815	m2
1241	42	281	US2	Sisäkuorielementit SK 180	60/40	122		735	m2
1241	51	231	US2	Poltettu tiili rappausalustaksi		32500		775	m2
1241	51	221	US2	Tiilikuoren teräskannatteet		40		60	m
1241	91	271	US1	Mineraalivilla 125				780	m2
1241	91	271	US1	Mineraalivilla 50 mm				780	m2
1241	101	4422	US2	Kolmikerrosrappaus harmaa verkko				815	m2
1241	101	4422	US2	Kolmikerrosrappaus, pielet 100mm				190	m
1241			US4	Puuverhottu termorankaulkoseinä				390	m2
1241	65	221	US4	Termoranka 200mm k600		250		390	m2
1241	71	241	US4	Hienosahattu ulkoverhouslauta UYS25*95			4400	390	m2
1241	71	241	US4	Ristikoolauslauta 2* 22*100 k600, 22+22mm			500	390	m2
1241	71	261	US4	Tuulensuojalevy GCW 13 Windroc 13mm				390	m2
1241	71	2731	US4	Polyeteenikalvo 0,2mm, saumat 200mm teipattu				340	m2
1241	71	261	US4	Kipsilevy EK 13mm, sisäverhouslevy				340	m2
1241	91	271	US4	Mineraalivilla Paroc UNS-35 200mm				390	m2

Taulukko 9. Rakenneluettelo-esimerkki. (Suositukset Talo 2000 -nimikkeistön käytöstä tietomalleissa)

TALO 2000 RAKENNELUETTELO ESIMERKKI

29.1.2010

Haahtela Kehitys Oy Kaarina Ojala, TKK Juhani Kiiras

RO Tyyppi Tuni Rtuo

124				JULKISIVUT					
1241				ULKOSEINÄT					
1241	US1	42		Bet.villa tiili punaruskea US1 piir ark xx, rs xx				1300	m2
				Sisäkuorielementit SK- 122kpl, aukkoja vähennetty 190 m2/106kpl US1					
1241	US1	42	281	piir rak E14				1270	m2
1241	US1	42		Sisäkuorielementityö SK- 1270m2, US1 piir rak E14				82	kpl
				Julkisivumuuraus, puhdas, Ruukintiiili, punaruskea US 1, aukkoja					
1241	US1	51	231	vähennetty 94m2/78kpl piir ark xx, rs xx				1270	m2
1241	US1	51	221	Vesipeltien aluslaastitus				100	m
1241	US1	51	221	Tiilikuoren kannatus aukkojen ylityksissä 19 kpl, det 1 piir xx				102	m
1241	US1	51	211	Raudoitteet B600KA2 rst muurauksessa				2100	kg
1241	US1	91	271	Mineraalivilla125+50 mm (01.037+03.050) US 1 muurauksen taakse				1805	m2

Taulukko 10. Tuotantomääräluettelo-esimerkki. (Suositukset Talo 2000 -nimikkeistön käytöstä tietomalleissa)

TALO 2000 TUOTANTOMÄÄRÄLUETTELO YKSINKERTAISTETTU

Haahtela Kehitys Oy Kaarina Ojala, TKK Juhani Kiiras

29.1.2010

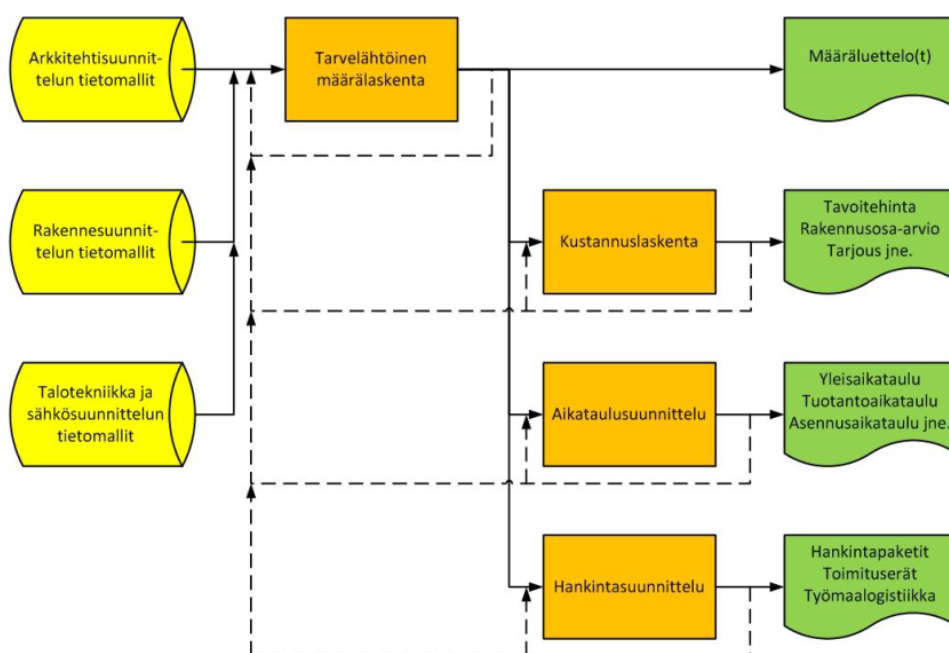
TU	RO			
42	1212	Betonielementtitoimitus		
42	1212	Sokkelielementit 200mm AV-, 25 kpl tyyppipiir. rak. E14	170	m2
42	1212	Kuorielementit KE-, 50kpl, tyyppipiir rak E14	225	m2
42	1221	Ontelolaatat EP 27 113kpl	865	m2
		V-elementit 180mm 166kpl, aukkoja vähennetty 138m2/59kpl tyyppipiir. rak		
42	1232	E13	1997	m2
42	1233	Pilarielementit, pyöreät 54kpl tyyppipiir. rak E 16	15	m3
42	1234	Palkkielementit JK-, 16kpl tyyppipiir. rak E 16	67	m3
42	1235	Ontelolaatat P 37 306kpl välipohjat	2395	m2
42	1235	Ontelolaatat P 37K 207kpl välipohjat	1700	m2
42	1235	Ontelolaattojen kaventaminen ja päiden sahaus välipohjat	550	m
42	1236	Ontelolaatat P 27 106kpl Yläpohjat	827	m2
		Porrassyöksyelementit, suora, ylätaso, kerroksen korkuinen h=3000, lev,		
42	1237	1250	4	kpl
		Sisäkuorielementit SK- 122kpl, aukkoja vähennetty 290 m2/156kpl piir rak		
42	1241	E14	1815	m2
42	1251	Parvekelaattaelementit, vaalennettu 71 kpl piir rak E 15	275	m2
42	1251	Parvekepielielementit, 160 mm 33 kpl piir rak E 15	260	m2
42				
42	1212	Betonielementtityö		
42	1212	Sokkelielementit 200mm AV-, 170m2 tyyppipiir. rak. E14	25	kpl
42	1212	Kuorielementit KE- 225m2, aukkoja vähennetty	50	kpl
42	1221	Ontelolaatat EP 27 865m2	113	kpl
		V-elementit 180mm 1997m2, aukkoja vähennetty 138m2/59kpl, piir rak		
42	1232	E13	166	kpl
42	1233	Pilarielementit, pyöreät 15m3 tyyppipiir. rak E 16	54	kpl
42	1234	Palkkielementit JK-, 67m3 tyyppipiir. rak E 16	16	kpl
42	1235	Ontelolaatat P 37 1395m2	307	kpl
42	1235	Ontelolaatat P 37K 1700m2	207	kpl
42	1236	Ontelolaatat P 27 827m2	106	kpl
		Porrassyöksyelementit, suora, ylätaso, kerroksen korkuinen h=3000, lev,		
42	1237	1250	4	kpl
		Sisäkuorielementit SK- 1815m2, aukkoja vähennetty 290 m2/156kpl piir		
42	1241	rak E14	122	kpl
42	1251	Parvekelaattaelementit, vaalennettu 275m2 piir rak E 15	71	kpl
42	1251	Parvekepielielementit, 160 mm 260m2 piir rak E 15	33	kpl

Määrätiedon tarkkuus kasvaa, mitä tarkemmin suunnittelua tehdään. Taulukossa 11 on esimerkki Talo 2000 -nimikkeistön mukaisesta täsmentyvistä määräluettelosta. Luonnosvaiheen määrätieto on tyypillisesti kahden ensimmäisen tarkkuustason mukaista.

2.4 Tietomallipohjainen kustannuslaskenta

2.4.1 Tietomallipohjainen kustannuslaskentaprosessi

Tietomallipohjainen kustannuslaskenta perustuu siihen, että määriä voidaan mitata kaikista eri suunnittelualojen tietomalleista (kuva 15). Tietomallista ei voida tai ei kannata kuitenkaan laskea aivan kaikkea, joten tietomallin tukena tulee olla aina muutakin suunnittelumateriaalia. Laskenta ei ole täten täysin automatisoitavissa, vaan määrälaskijan rooli laskennassa ja ammattitaidon merkitys kasvaa huomattavasti. Asiantuntijan tehtävänä on tarkistaa lähtötiedot, määrittää tarkasteltavat vaihtoehdot, jäsennellä laskenta taroituksenmukaisesti ja varmistaa laskennan kattavuus. (BuildingSMART Finland 2012c)



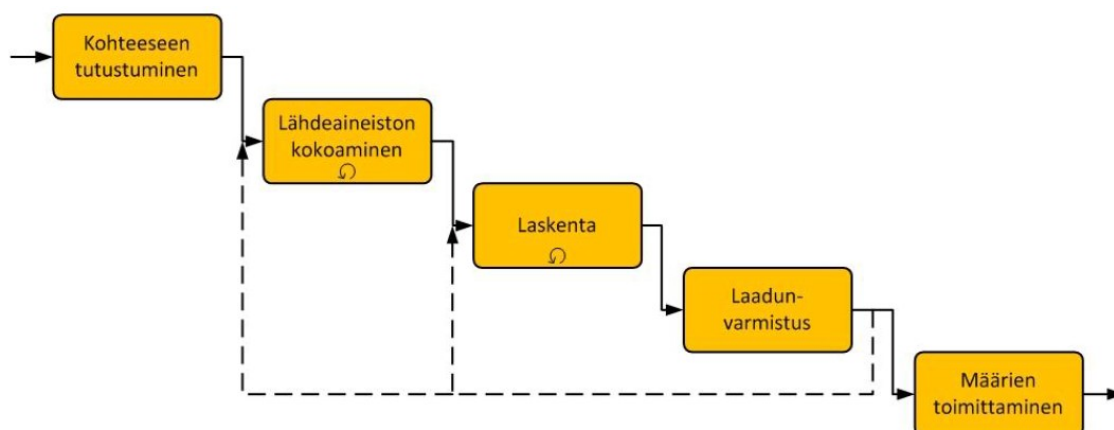
Kuva 15. Määrälaskennan hyödyntäminen hankkeessa. (BuildingSMART Finland 2012c)

Panostuksen siirtäminen alkuvaiheen tiedon integrointiin ja tietokoneavusteiseen päätöksentekoon perustellaan kolmen periaatteen mukaisesti:

- tieto suunnittelun taloudellisesta kannattavuudesta ja elinkaarikustannuksista tulee sisällyttää luonnosvaiheen suunnitteluun tiedon hyödyntämisen maksimimiseksi
- tietokoneavusteisten työkalujen potentiaalinen vaikutus päätöksentekoon on suurempi kuin myöhäisemmissä vaiheissa
- päätösten vaikutus kustannuksiin ja suoriutumiseen on korkeampi ja suunnittelu-
muutosten kustannukset ovat pienemmät luonnosvaiheessa kuin myöhäisemmissä
vaiheissa. (Cavieres et al. 2011)

Tärkeintä tietomallipohjaisessa määrä- ja kustannuslaskennassa on mallinnuksen johdonmukaisuus. Tästä pienenä poikkeuksena ovat tarkkuustasoltaan poikkeavat mallirakenteet, joiden mallintaminen on tehty erikseen sovituin perustein. Mallin tarkkuustasosta ja käytettävästä nimikkeistöstä tulee sopia tilauksen yhteydessä. Mallintamiseen, sen tarkkuustasoon ja mallin tietosisältöön tutustutaan tarkemmin luvuissa 2.4.3 ja 2.4.4. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 eivät anna suoria ohjeita laskentaan, vaan tietojen hyödyntäminen jää laskijan käsiin. (BuildingSMART Finland 2012c)

Tietomallipohjainen määrälaskentaprosessi etenee kuvan 16 kaavion mukaisesti kohteeseen tutustumisesta, lähdeaineiston kokoamiseen, määrälaskentaan, aineiston laadunvarmistukseen ja määrien toimitukseen. Laskenta aloitetaan kohteeseen tutustumisella, joka voi tapahtua melko suppeillakin tiedoilla, riippuen hankkeen vaiheesta ja luonteesta. Kohteeseen tutustuminen voi olla hankkeen varhaisissa vaiheissa esimerkiksi kirjalliseen aineistoon tutustumista tai hankeosapuolen esittämää suullista informaatiota. (BuildingSMART Finland 2012c)



Kuva 16. Määrälaskentaprosessi. (BuildingSMART Finland 2012c)

Seuraavassa vaiheessa kootaan lähdeaineisto. Laskijan tulee kartoittaa, mitä tietomalleja ja suunnitelmia on käytettävissä ja määrittää, mitä tietoa mistäkin lähteestä otetaan. Liitteessä 4 on YTV2012 osan 7 näkemys eri tietomallien sisällöstä Talo 2000 -nimikkeistön mukaan jaoteltuna. Laskennan kannalta olisi tärkeää, että kaikkien suunnitelmien ja tietomallien versio olisi samoilla tiedoilla tehty ja uusin mahdollinen. Myös mallin tiedostoformaatti (esim. natiivimalli vs. IFC-malli) voi vaikuttaa siihen, mitä laskennassa voidaan hyödyntää. Lähdeaineiston kokoamisen jälkeen tulee varmistaa aineiston kattavuus ja määrittää, mitkä tiedot saadaan tietomallipohjaisesti ja mihin tietoihin tulee käyttää perinteisiä mittausmenetelmiä. Mallin tarkkuustaso ja sen vaihtelu mallin sisäisesti tulee olla tiedossa, jotta laskija voi ottaa tämän huomioon. Myös mallissa sijaitsevat laskennan ulkopuoliset rakenteet, esimerkiksi olemassa olevat rakennukset, tulee olla merkitty selkeästi. Mahdolliset ristiriitaisuudet, esimerkiksi rakennetyypeissä, tulee paikantaa ja selvittää ennen laskentaa. Laskija määrittää ammatitaidollaan, onko lähdeaineisto tarpeeksi

kattava laskennan suorittamiseen. Lähdeaineistoa tarkennetaan, mikäli laskenta sitä vaatii. (BuildingSMART Finland 2012c)

Lähdeaineistoon tutustumisen jälkeen siirrytään määrälaskentaan. Määrälaskenta toteutetaan siihen soveltuvalla tietokoneohjelmistolla tai perinteisemmillä mittausten menetelmillä. Tietokoneohjelmiston valinta voi vaikuttaa laskennan luotettavuuteen ja tehokkuuteen. Myös versionhallintamahdollisuudet ja vaihtoehtojen vertailu voivat vaihdella ohjelmistojen välillä. Joissain ohjelmistoissa rakennusosien tunnistaminen ja laskenta tapahtuvat ohjatusti, jolloin laskenta on nopeaa, luotettavaa ja havainnollistavaa. Joitain mittoja voidaan joutua johtamaan muista rakenneosista tai ruutumittauksella, mikäli suoraa mittatietoa ei ole saatavilla (esimerkiksi seinäanturat seinämittojen mukaan). Mallia voidaan joutua määrälaskennan aikana täydentämään, jolloin täytyy varmistaa, että muutos tehdään myös alkuperäiseen malliin. Muuten tietoa voi kadota ja tiedon uudelleen käytettävyyden ja tarkistaminen katoavat. Muutoksia tekevän tahon tulee tehdä muutokset niille tarkoitetuilla työkaluilla, jotta mallinnus pysyy yhtenäisenä. (BuildingSMART Finland 2012c)

Luonnosvaiheessa joitain suunnitteluratkaisuja, joita tyypillisesti tehdään myöhemmässä vaiheessa suunnittelua, tulee tehdä jo varhaisessakin vaiheessa, jotta tarvittavat tiedot kustannuslaskentaan saadaan haettua. Päätöksenteko siis aikaistuu, mikäli halutaan tehdä merkityksellistä kustannusarviointia luonnosvaiheessa. (Bazjanac 2005, s. 12) Perinteisessä kustannuslaskentaprosessissa kustannuslaskija määrittää alustavan kustannusarvion luonnossuunnitelmien perusteella. Laskenta vaatii usein konsultointia toimivuuteen ja suoritettavuuteen muilta ammattilaisilta. Suunnittelu on kehittyvä prosessi, jossa tiedon takaisinkytkentä on eriaikaista. Perinteinen laskentaprosessi on luonteeltaan iteratiivinen, aikaa vievä ja tehoton. (Cheung et al. 2012)

Määrälaskennan jälkeen määrälaskenta-aineistolle tehdään laadunvarmistus ennen määrien toimitusta. Aineistosta analysoidaan ja varmistetaan nimikkeistön avulla kattavuus, tutkitaan laskennan tarkkuutta verrattuna referenssikohteeseen tai toiseen laskentaan ja arvioidaan luotettavuutta lähtötietojen, laskentamenetelmien, oletusten ja täydennysten kautta. Mikäli laadunvarmistuksessa ilmenee puutteita, laskentaa tehdään tarvittaessa uudestaan. Onnistuneen laadunvarmistuksen ja hyväksyttävän laskennan jälkeen tuloksena saadaan selkeä, kattava ja luotettava määrälaskenta-aineisto. Tämän lisäksi tulee toimittaa laskennan perustana oleva lähdeaineisto, tukimateriaali, kuten rakennetyypit, tietomalliselostus, mahdollisesti tietomalli ja muuta tarpeellista suunnitteluaineistoa. Tämä auttaa hahmottamaan hankkeen laskennan kokonaisuutena. (BuildingSMART Finland 2012c)

Määrä- ja kustannuslaskentamenetelmät voivat poiketa riippuen hankkeen vaiheesta, kuten todettiin jo luvussa 2.3.2. Hankkeen alkuvaiheessa luotu parametrinen kustannusarvio perustuu tyypillisesti rakennuksen tiloihin, pinta-aloihin, tilavuuksiin, piireihin ja muihin vastaaviin suureisiin ja ominaisuuksiin. Vaihtoehdot tietomallipohjaisen kustannusarvion luomiseen voidaan yksinkertaistuksena jakaa kolmeen tyyppiin: 1) määrätiedot tuodaan

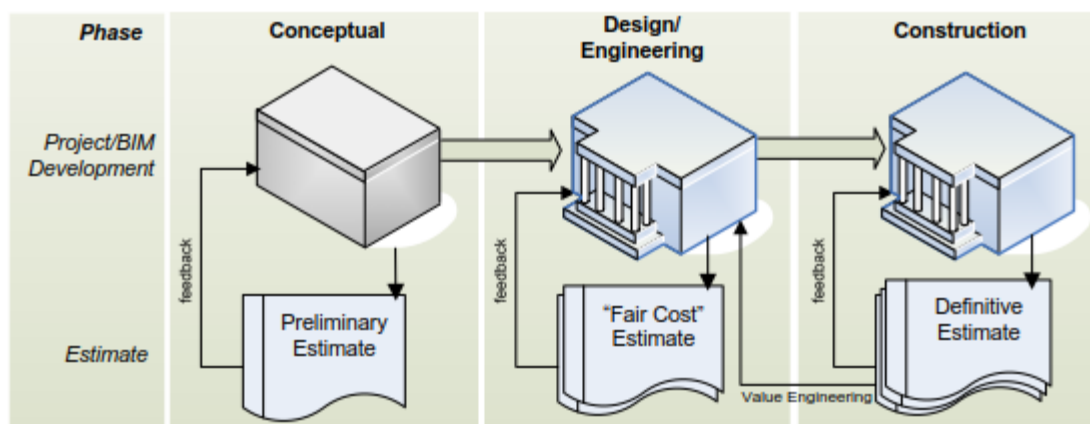
tietomallista välivaiheen kautta laskentaohjelmaan, 2) tietomalli linkitetään suoraan laskentaohjelmaan tai 3) tietomallissa on sisäinen laskentatyökalu. (Eastman et al. 2011, s. 275) Tämän tutkimuksen tapauksessa määrätiedot tuodaan tietomallista välivaiheen kautta laskentaohjelmaan.

Otettaessa käyttöön tietomallipohjaista kustannuslaskentaa, on tärkeää ymmärtää tietomallien hyödynnettävyys ja soveltaa tietomallipohjaisuutta vain siinä määrin kuin osaa-minen riittää. BIM ei tarjoa automaattisesti eikä tule ikinä tarjoamaankaan kokonaisvaltaista kustannusarviota, vaan tuottaa ainoastaan osan arvion muodostamiseen tarvittavista tiedoista. Tietomallista voidaan saada määrätietoa vain sinne mallinnetuista tai mallinnettuiden osien kautta johdetuista osista. Laskenta on syytä aloittaa yksinkertaisilla ja helposti ymmärrettävillä osilla ja kasvattaa laskennan laajuutta sitä mukaa, kun laskijan osaaminen kasvaa, mikäli siirrytään suoraan perinteisistä laskentamenetelmistä tietomallipohjaiseen laskentaan. On syytä varmistaa, että käytetyt työkalut ja ohjelmistot tuottavat laskentaan tarvittavan ja oikean määrätiedon. Useamman ohjelmiston käyttämiseen kannattaa siirtyä vasta, kun oikeellisuus jokaisessa laskennan vaiheessa on varmistettu. Laskennan tarkkuustaso-odotusten perusteella tulee määrittää mallinnuksen tarkkuustaso, sillä laskentaan sisältyy vain ne osat ja tiedot, joita tietomalliin on mallinnettu tai syötetty. Jokaiseen suunnittelualaan ja suunnittelun mallintamiseen liittyy omat ongelmansa, jotka tulee paikantaa. Standardisointi ja yhdenmukaisuus ovat tärkeitä luotettavuuden, kattavuuden ja toistettavuuden kannalta. (Eastman et al. 2011)

2.4.2 Mallinnuksen tarkkuustaso

Tietomallinnuksen peruseräpäteisiin kuuluvat se, että mallinnetaan vain sitä, mitä on suunniteltu ja sellaiselle tarkkuudelle, jolle on suunniteltu. Mallintamisen ollessa melko helppoa, voi helposti tulla mallinnettua sellaisiakin asioita, joita ei ole todellisuudessa suunniteltu, joten mallintamisen tarkkuustasoa tulee säätää tämän mukaan. (Hietanen 2005, s. 38-39)

Jokainen rakennuksen tietomalli on aina yksinkertaistus ja likiarvo todellisesta tilanteesta ja ihminen on se, joka suodattaa mallinnettavan sisällön laajuuden. Mallintamisen tarkkuustaso vaikuttaa siihen, minkä tasoinen likiarvo on. Samalla mallinnuksen tarkkuustaso vaikuttaa myös siihen, kuinka paljon aikaa tietomallin tekemiseen joudutaan käyttämään ja millainen tietomallin muunneltavuus on. Mitä yksityiskohtaisempi tietomalli on, sitä työläämpää mallia on yleensä muuttaa. Kaikkea harvemmin tarvitsee ja halutaankaan mallintaa, joten täysin tarkkaan tietomallin ei ole tarkoituksen mukaista missään vaiheessa pyrkiä. Oikeaa tarkkuustasoa tiettyyn vaiheeseen on vaikea määrittää, koska prosesseja ja menetelmiä on todella monia, mutta väärän tarkkuustason useimmiten huomaa työskennellessä. Tietomallin mallinnustarkkuus ja tietosisältö määrittävät yhdessä sen, mihin tietomallia voidaan käyttää. (Hietanen 2005, s. 29) Hankkeen vaihe ja siinä käytettävä suunnittelu- ja mallinnustarkkuus vaikuttavat suoraan kustannusarvion tarkkuuteen (kuva 17 ja taulukko 12).



Kuva 17. Kustannusarvio eri vaiheissa hanketta. (Sabol 2008)

Taulukko 12. Kustannusarvion kehittyminen hankkeen aikana. (Sabol 2008)

Estimate Phase	Detailed				
	Budget				
Estimate Class	5	4	3	2	1
Level of Project Definition % of complete definition	0% to 2%	1% to 15%	10% to 40%	30% to 70%	50% to 100%
End Usage Typical purpose of estimate	Screening or Feasibility	Concept Study or Feasibility	Budget, Authorization or Control	Control or Bid Tender	Check Estimate or Bid/Tender
Expecting Accuracy Range* Typical variations in low and high ranges	Hi: +30% to +100%	+20% to +50%	+10% to +30%	+5% to +20%	+3% to +15%
	Lo: -20% to -50%	-15% to -30%	-10% to -20%	-5% to -15%	-3% to -10%
Preparation Effort Typical degree of effort relative to least cost index of 1	1	2 to 4	3 to 10	5 to 20	10 to 100

*The availability of applicable reference cost data can affect the range markedly.

Luonnosvaiheen mallin tulee perustua yksinkertaiseen geometriaan ja olla joustava muutoksille, jotta vaihtoehtotarkastelua on helppo ja nopea tehdä. Tästä syystä alustava tietomalli ei välttämättä ole käyttökelpoinen myöhempiin suunnitteluvaiheisiin käytettyjen työkalujen johdosta, vaikka myöhempään käyttökelpoisuuteen tulisi pyrkiä. (Sabol 2008)

Tarkkuustaso määrää suoraan tietomallista saatavan määrätiedon tarkkuuden. Jotta laskija voi tehdä laskentaa määrätietoisesti, tulee hänen pystyä ottamaan huomioon kunkin kohdan tai osan tarkkuustaso. Mallin tarkkuustasovaihteluita mallin sisäisesti voidaan hyödyntää muun rakennuksen kustannusten arvioinnissa. Joskus on järkevää mallintaa osa rakennuksesta tai rakennusosista muita osia tarkemmin tai viedä sovitut muutokset ensin vain osaan mallista. Tällöin määrälaskennassa voidaan käsitellä mallin tarkempaa tai päivitettyä osaa ja käyttää kertoimia koko rakennuksen määrien selvittämiseksi. Esimerkiksi asuinrakennuksessa yhden kerroksen tarkemmin mallinnetuille väliseinille voidaan tehdä tarkempi kustannusarviointi ja käyttää kertoimena kerroslukua laskennassa. (BuildingSMART Finland 2012c) Hankintoja palveleva suunnittelu toimii hyvänä ohje-
nuorana tarkemmin mallinnettaville osille (liite 5).

Mallinnuksen tarkkuustasoon ja käytettäviin työkaluihin palataan tarkemmin case-tapauksen yhteydessä luvussa 3.4.1.

2.4.3 Tietosisällön vaatimukset

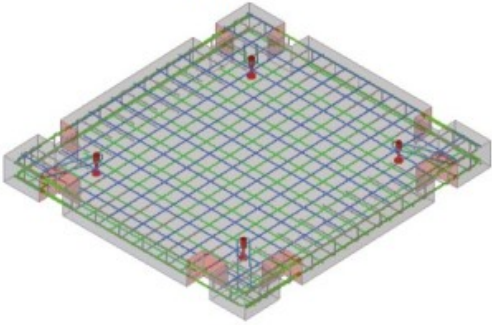
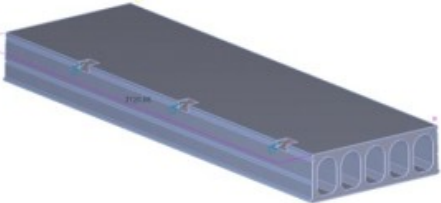
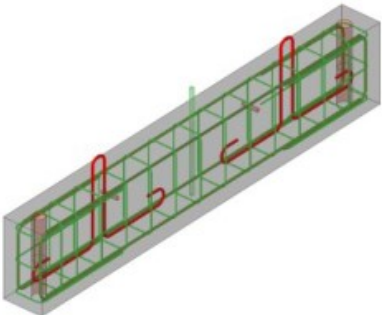
Tietosisällön lähtökohtana on se, mitä mallinnetaan. Ei ole sama, mallinnetaanko piirustusta vai rakennusta. Tietosisältö on se, jonka perusteella voidaan päättää, mihin tietomallia lopulta käytetään. Geometrian mallintaminen mahdollistaa pohjapiirustusten ja leikkausten tekemisen. Kun tälle geometrialle määritetään esimerkiksi rakennetyyppi, voidaan tietojen yhdistelmää käyttää määrälaskentaan ja U-arvojen perusteella energia-analyysiin. (Hietanen 2005, s. 28)

Tietosisällön määrittää tarkemmin se, mitä tietomallista halutaan lopulta saada ulos. Vaatimuksena voi olla se, että tietomallista saadaan tietynlaista mittatietoa rajapinnassa eli vaikkapa tietynlaisessa tiedostomuodossa. Tämä ei siis automaattisesti määrää toteutus-tapaa, jolla tieto tuotetaan tietomalliin. Samaan lopputulokseen voidaan päästä useammalla eri tavalla, mutta tietomalli voi olla tehokkain ja luotettavin tapa tuottaa tieto. (Hietanen 2005, s. 42) Tietomalli voidaan kuitenkin luoda monella eri tavalla ja monella eri tarkkuudella. On tapauskohtaista, kuinka tarkasti erilliset rakennusosat kannattaa mallintaa.


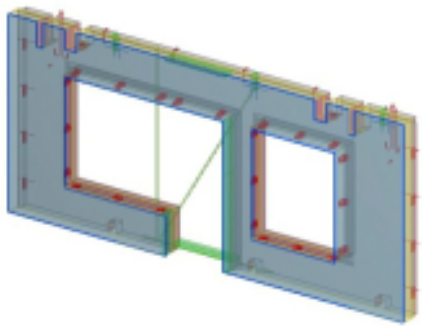

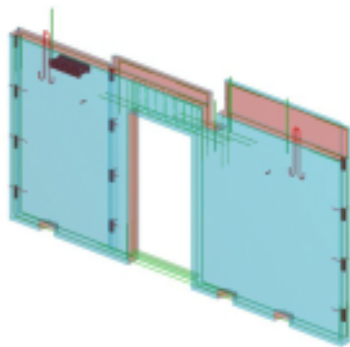
YTV 2012 osassa 5 määritetään yleisesti rakennemallin sisältöä. Rakennemalliin tulisi mallintaa kaikki kantavat ja ei-kantavat betonirakenteet, sekä kaikki rakennustuotteet, joiden koolla ja sijainnilla on merkitystä muilla suunnittelualoille. Osan sijainnin, nimen tai tyyppin ja geometrian tulee kulkea osan mukana. Jotta rakennusosat ovat oikein IFC-muotoisessa mallissa, tulee rakennesuunnittelijan varmistaa, että esimerkiksi seinä on mallinnettu seinänä ja palkki palkkina. Useimmiten osan tyyppi peilautuu oikein, kun käytetään oikeita mallinnustyökaluja. Malliin tulee myös määrittää ennalta sovitut lohko- ja kerrosmäärittelyt, joiden avulla mallia voidaan visualisoida, tarkastaa ja laskea hyödyntäen jaottelua. Samojen lohko- ja kerrostietojen tulee siirtyä myös IFC-malliin. Numerointi ja nimeäminen tehdään myös sovittujen ohjeiden mukaisesti. Tietomalliselostuksesta tulee ilmetä tietomallin valmiusaste eri puolilla tietomallia. Rakennetyypit täytyy luoda ja varmistaa ristiriidattomuus eri suunnitteluosapuolten välillä. Rakennetyyppejä ei tyypillisesti esiinny mallissa muuta kuin tunnisteena, vaan itse rakenteet kuvataan 2D-piirustuksina. (BuildingSMART Finland 2012b)

BEC2012 -hanke määrittää rakenneosakohtaisesti taulukon 13-14 mukaiset sisällöt. Osa rakenneosille määritettävistä tiedoista tulevat suoraan oikealla mallinnustavalla, mutta osa tiedoista tulee määrittää rakennusosalle manuaalisesti.

Taulukko 13. BEC-ohjeistuksen mukaiset eri rakenneosien mittatiedot. (Sironen 2014, BEC2012 mukaan)

ELEMENTTI	LUETTELOITAVAT MITAT
Massiivilaattatyypiset elementit 	Pituus Korkeus Leveys Lippa Brutto-pinta-ala Aukkoala aukoittain Netto-pinta-ala Tilavuus Paino Raudoitussuhdearvio
Ontelo- ja kuorilaatat 	Brutto-pinta-ala Leveys Korkeus Pituus Eristeen paksuus Vinopäiden lukumäärä Tilavuus Paino Sahauksen pituus Punosmääräarvio
Palkkityypiset elementit 	Pituus Korkeus Leveys Uuman koko Korkeimman leuan koko Toisen leuan koko Tilavuus Paino Raudoitussuhdearvio Punosmääräarvio

Taulukko 14. BEC-ohjeistuksen mukaiset eri rakenneosien mittatiedot. (Sironen 2014, BEC2012 mukaan)

ELEMENTTI	LUETTELOITAVAT MITAT
Pilarityypiset elementit 	Pituus Suurimman poikkileikkauksen syvyys Suurimman poikkileikkauksen leveys Konsolityypit ja niiden lukumäärä Tilavuus Paino Raudoitussuhdearvio
SW-tyypiset elementit 	Pituus Korkeus Paksuus Lipan korkeus Sisäkuoren paksuus Eristeen paksuus Ulkokuoren paksuus Sisäkuoren tilavuus Ulkokuoren tilavuus Aukkoala aukoittain Brutto-pinta-ala Nettopinta-ala Paino Ulkokuoren eri pintakäsittelyt Raudoitussuhdearvio
TT-laattatyypiset elementit 	Pituus Korkeus Leveys Rivan leveys Vinopäiden lukumäärä Pinta-ala Tilavuus Paino Punostusmääräarvio
Yksikuoriset seinäelementit 	Pituus Korkeus Paksuus Lipan korkeus Brutto-pinta-ala Nettopinta-ala Aukkoala aukoittain Tilavuus Paino Raudoitussuhdearvio

Taulukossa 15 näkyy, mitä tietoja BEC2012 -hankkeen mukaan kuuluu elementin perustietoihin. BEC2012 -hankkeen Elementtisuunnittelun mallinnusohje -julkaisussa on tarkat ohjeet tietojen syöttämiseen malliin, erityisesti Tekla Structures -ohjelmalla. (BEC2012-hanke 2014)

Taulukko 15. *Betonielementtien perustiedot geometrian lisäksi. (Sironen 2014, BEC2012 mukaan)*

Elementin perustieto
Elementtitunnus / piirustus
Elementin tyyppitunnus
Elementin sarjanumero
Tuotantosarjanumero
ID (GUID)
Juoksevanumero (ACN)
Asennuslohko
Kerros
Tuotetyyppi
Sisäkuoren betoniluokka
Ulkokuoren betoniluokka
Sisäkuoren rasitusluokka
Ulkokuoren rasitusluokka
Suunniteltukäyttöikä
Paloluokka
Pintaluokka
Piirustus päivämäärä
Revisiotunnus
Muutospäivämäärä
Huomautus
Suunnittelun status
Suunnittelu aikataulu

Taulukon tiedot saadaan tuotettua oikein monella eri tavalla eli listaus ei suoranaisesti sido mihinkään tiettyyn mallinnustapaan. Tietomalleihin on kehitetty useita mallinnusta nopeuttavia työkaluja, mutta suunnittelijan vastuulle jää varmistaa, että osasta saadaan kaikki tarpeellinen tieto. (BEC2012-hanke 2014)

2.4.4 Tietomallipohjaisen kustannuslaskennan hyödyt ja haasteet

Tietomalli ei ole ratkaisu kaikkeen vaan tietomallipohjaisuuteen liittyy useiden hyvien puolien vastapainoksi paljon haasteita. Tietomallipohjaisen määrä- ja kustannuslaskennan vahvuuksiin kuuluu vertailtavuuden helpottuminen jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa, jonka ansiosta kustannusohjaus on tehokasta, koska kustannukset perustuvat määrätietoihin ja laadun muutoksiin. Tietomallipohjaisen määrälaskennan hyviä puolia ovat myös laskennan läpinäkyvyys, toistettavuus ja havainnollisuus. Samaa määrätietoa voidaan myös hyödyntää erilaisissa laskennassa, kuten kustannus- ja tuotannosuunnittelussa, joten nämä linkittyvät automaattisesti riippuvaisiksi toisistaan. On todettu, että tietomallipohjaisuus myös tehostaa logistiikkaa ja parantaa tuottavuutta ja laatua. (Teittinen 2009) Mitä aikaisemmin tietomalli otetaan käyttöön, sitä suuremmat kustannussäästöt sen avulla voidaan saada (Eastman et al. 2011, s. 163).

Perinteisesti rakennusosa-arvioon perustuvaa kustannuslaskentaa on tehty suunnitelma-dokumenteista laskemalla ja mittaamalla viikkojen tai jopa kuukausien työllä. Tietomallipohjaisessa laskennassa suunnitelmadokumenttien tuottamista ei tarvitse tehdä, joten pelkästään tämä säästää runsaasti laskentaan kuluvaan aikaan ja vähentää merkittävästi työ-määrää. Tietomallipohjaisella määrä- ja kustannuslaskennalla pystytään tuottamaan huomattavasti nopeammin vastaavanlainen aineisto, jota itse tietomalli havainnollistaa mm. toteutettavuuden, toistuvuuden ja vaikeusasteen kannalta.

Riippuen määrälaskentatavasta, voi määrämittaus tapahtua todella visuaalisella tavalla, jolloin voidaan varmistua laskennan kattavuudesta. Useamman tietomallin käyttäminen on kannattavaa, mutta tuo omat haasteensa. Tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan liittyy haasteita, jonka takia oikeita toimintatapoja vasta opetellaan ja tutkitaan. Useat ongelmista liittyvät kehittyviin tietomallinnustyökaluihin, jotka saattavat helpottaa suunnittelua, mutta vaikeuttavat määrälaskentaa. Yksityiskohtaisempia haasteita käydään läpi toimintatutkimuksessa luvussa 3.

Yhtenä haasteena on se, että jotkin tilamalliohjelmistot saattavat laskea pintoja sellaisiin paikkoihin, joissa sitä ei todellisuudessa ole vääristäen määriä. Verhoseinät aiheuttavat juuri tämän tyyppisiä määrämittausvirheitä. Kattojen mallintamiseen on myös kehitetty erikoistyökaluja, jotka luovat koko katon kokonaisuudessaan, mutta täten hankaloittavat tarkempien mittatietojen poimimisen. Porrastyökalujen kanssa on samaa ongelmaa, joiden kappalemäärä voidaan saada helposti selville, mutta esimerkiksi kaidetolppien lukumäärät voivat olla hankalasti saatavilla. Geometrisesti haastavat rakenteet, kuten kaltevat, kaarevat osat sekä lisäykset ja poistot ovat vaikeita määrälaskettavia tietomallista. (BuildingSMART Finland 2012c) Näiden mallinnustapa voi olla täysin oikea, mutta tietokoneohjelmalle liian haastava määrätiedon tuottamiseen. Suunnitteluun sopiva työkalu ei välttämättä ole oikea työkalu määrälaskennan kannalta. (Eastman et al. 2011, s. 465)

Useimmiten ongelma korjaantuu räjäyttämällä komponentti, mutta tämä myös estää työkalun muokkaamisen kyseisen rakenneosan kohdalla.

Laskennassa saatetaan käyttää useampaa eri mallia, joiden sisällöissä voi olla päällekkäisyyttä. Laskennan kannalta luotettavat ja epäluotettavat kohdat tulee tunnistaa, jotta niihin voidaan puuttua. Vaikka tietomalli kokoaa rakennuksen tietoa tehokkaasti yhteen, ei kaikkea tietoa ole järkevää kuitenkaan laittaa tietomalliin. Kaikki tiedon hajanaisuus ei siis katoa tietomallien myötä. Tähänkin keksitään varmasti tehokkaampia toimintatapoja, mutta toistaiseksi tiedon hajanaisuus vaivaa vahvasti rakennusalaan ja sama ilmenee hyvin tietomallipohjaisessa määrä- ja kustannuslaskennassa. Tietomallipohjaisessa laskennassa määrälaskentaan tulee vain mallinnetut osat, joten esimerkiksi piirtotyökalujen käyttö sekaisin mallintamisen kanssa on todella riskialtista ja voi aiheuttaa virheitä laskentaan.

Tietomallipohjaisen kustannuslaskennan haasteisiin kuuluu vastuu tiedon oikeellisuudesta, kun tietomalli luodaan monen eri suunnittelualan toimesta ja monien suunnitelmien lähtötietojen perusteella. Vaikka tietomallipohjaisuus on tehostanut prosesseja valtavasti, manuaalisen työn osuus on edelleen suurta, joka kasvattaa virheiden syntymisen riskiä. (Teittinen 2009)

Riippuen missä vaiheessa tietomallipohjaista kustannuslaskentaa tehdään, kustannustiedon tarkkuus voi olla vaihtelevaa. Täten on tehtävä selväksi, minkälaisilla lähtötiedoilla ja varauksilla kustannusarvio on luotu. Hankkeen alkuvaiheessa kustannusarvion kannattavin käyttö on vertailemaan eri runkovaihtoehtoja, ei välttämättä määrittämään vielä lopullista budjettia.

Tietomallipohjainen kustannuslaskenta ei saisi myöskään olla liian helppoa, jotta laskijalla säilyy käsitys laskennan kattavuudesta, laskentaperusteista ja tehdyistä arvioista. Tietomallipohjainen kustannuslaskenta lisää kustannuslaskijan ammattitaidon painoarvoa merkittävästi, kun laskenta muuttuu nopeammaksi. Tietomallipohjaisessa laskennassa määriä voi onneksi tarkistaa jälkikäteen.

Jatkuva kustannusten tuijottaminen ei saa vaikuttaa suunnitteluratkaisujen laatuun tai turvallisuuteen. Oikean ratkaisun kaikkien vaatimusten kompromissina vaatii suurta ammattitaitoa suunnittelijalta. Rakentamisen kustannukset eivät ole myöskään rakennuksen elinkaaren aikana merkittävimmät kustannukset, joten tietomallipohjainen kustannuslaskenta ei saisi hämärtää tätä totuutta. Tietomallipohjainen kustannuslaskenta huomioi helposti ainoastaan rakentamisesta aiheutuvat kustannukset, vaikka suurin osa rakennuksen kustannuksista muodostuu vasta käyttöönoton jälkeen, kuten luvussa 2.3.1 havaittiin. Suunnitteluratkaisuja täytyisi miettiä tältä näkökannalta, jotta saadaan koko elinkaari huomioon ottaen taloudellinen rakennus.

Tietomallipohjaiseen kustannuslaskentaan ei luoteta, vaikka kehitystyötä määrälaskennan tarkkuuteen on tehty (BEC-hanke). Tietomallipohjaisen kustannuslaskennan käyttöönottoa hidastaa myös selkeästi vanhoihin tapoihin juuttuminen. Uuden Talo 2000 -

nimikkeistön käyttöönotto on ollut hidasta, koska monen urakoitsijan kustannustietokannat perustuvat vanhaan Talo 80 -nimikkeistöön. Nimikkeistön ja laskentaperusteiden päivittäminen uuteen järjestelmään on työläs ja aikaa vievä prosessi. Kiireisessä liikemaailmassa tällainen kehitystyö on haasteellista toteuttaa kerralla, joten yksi vaihtoehto on etsiä keinoja viedä muutosta eteenpäin joustavasti. Tietomallin hyödyntäminen määrälaskennassa luo mahdollisuuksia tällaiselle joustavalle muutokselle, sillä määrätietojen tuottaminen eri muodoissa on mahdollista.

3. CASE: HALLIRAKENNUSTEN RUNKOVERTAILUT

Työssä kehitetään tietomallipohjaista kustannuslaskentaprosessia käytännön tutkimuksen kautta vertailemalla kolmea päämateriaaliltaan erilaista runkovaihtoehtoa: betoni, liimapuu ja liittorakenne (liittopilarit ja teräsrakenteet). Rakennuksesta suunnitellaan myös jo kaista runkovaihtoehtoa koskevat täydentävät rakenteet. Tietomallipohjaisella kustannuslaskennalla on tarkoitus selvittää kantavan rungon kustannukset sekä soveltuvien täydentävien rakenteiden määrät. Täydentävät rakenteet mallinnetaan ja lasketaan vain kerran koskemaan kaikkia runkoratkaisuja. Muut rakennuksen ja rakentamisen kustannukset arvioidaan kustannuslaskijan toimesta soveltuvilla menetelmillä.

Jotta runkovaihtoehdot ovat vertailukelpoisia, hallin oleelliset päämitat ja suunnitteluperusteet ovat kaikissa vaihtoehdoissa lukitut. Tässä kappaleessa on esitelty koko prosessi lähtien rakennuksen suunnitteluperusteista kustannusarvioon. Lopuksi tulkitaan eri runkovaihtoehtojen kustannuslaskelmia ja vedetään johtopäätöksiä kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä ja prosessista itsestään.

3.1 Rakennuksen lähtötiedot

Rakennuksen mitat valittiin suunnitteilla olevan hallirakennuksen laajennuksen mukaisiksi. Hallin ulkomitat pidetään kaikissa rakennuksissa samoina, jolloin sisämitat voivat vaihdella johtuen runkosyvyydestä ja käytettävistä poikkileikkauksista. Poikkeuksena tässä on kuitenkin hallin vapaa korkeus, joka pyritään pitämään samana kaikissa vaihtoehdoissa, jolloin katon harjalinjaa nostetaan tarvittaessa.

Lähtötietojen perustana toimii Tampereen lähikuntaan suunnitteilla oleva varastorakennuksen laajennus. Valtaosa hallin pohjapinta-alasta on varastotilaa ja yhdessä nurkassa sijaitsee kaksikerroksinen toimistotila, johon on kulku rakennuksen ulkopuolelle rakennettavasta porraskäytävästä ja vanhan halliosan puolelta. Hallin toisessa nurkassa sijaitsee väestönsuoja. Hallin yksinkertaistettu pohjapiirustus ja leikkaus molempiin suuntiin ovat liitteissä 6-8.

Rakennuksen perustiedot:

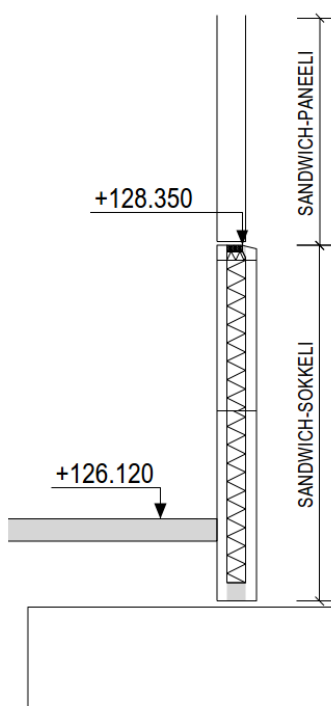
- Sijainti: Tampereen lähikunta
- Mitat
 - Ulkomitat
 - leveys: 96 m
 - syvyys: 60 m
 - harjakorkeus: ~13.2 m (muuttuen kattorakenteen mukaan)

- Vapaa korkeus varastossa: 8900 mm
- Toimiston kerroskorkeus: 3000 mm
- Katon kaltevuus: 1:16 (3,6°) (muoto liitteen 7 leikkauksen mukaan)

3.2 Suunnitteluperusteet

Rakennuksen suunnitteluperusteet valittiin käyttötarkoitusta seuraten ja huomioimatta rakennukselle jo määritettyjä suunnitteluperusteita. Paloluokka määritettiin kuitenkin käyttötarkoitusta alhaisemmalle tasolle, jotta kaikkia runkovaihtoehtoja olisi järkevää tarkastella. Suunnitteluperusteiksi määritettiin seuraavat:

- Suunniteltu käyttöikä: 50 vuotta
- Seuraamusluokka: CC2
- Maastoluokka: III
- Pohjatiedot (perustamistapalausunnosta):
 - perustamistapasuositus: maanvarainen
 - $P_{sall} \leq 300 \text{ kN/m}^2$
 - kitkakulma: 38°
 - tilavuuspaino: 18 kN/m³
- Paloluokka
 - R30
- Rakennetyypit (liite 9)
 - alapohjat kaikissa vaihtoehdoissa samat
 - lattiakorko +126,120 metriä
 - ylä- ja välipohjat runkoratkaisuun soveltuvasti
 - ulkoseinät kaikissa samat (kuva 18)
 - pääasiassa korkoon +128,350: US 02 (sandwich-sokkeli)
 - sokkelista ylöspäin: US 01/04 (sandwich-paneeli)
 - kevyet väliseinät jätettiin tietomallipohjaisen tarkastelun ulkopuolelle
- Hyötykuormat (SFS-EN 1991-1-1 + NA)
 - varasto: 40 kN/m² tai 200 kN (luokka E)
 - toimisto: 2,5 kN/m² (luokka B)
- Pääkehän jännevälit: 12m + 24m + 24m
- Pääkehän runkojako: 12m



Kuva 18. *Ulkoseinärakenne.*

Väestönsuoja ja porrashuone jätettiin suunnittelun ulkopuolelle, koska näiden oletettiin tulevan tuoteosakauppoina. Molemmat rakenteet ja niiden perustukset sekä maanvarainen laatta mallinnettiin tietomalliin referenssiksi, mutta vain rakenteiden perustukset ja maanvarainen laatta sisällytettiin määrälaskentaan. Vanha hallirakennus mallinnettiin myös referenssiksi. Rakennetyypeistä case-tapauksessa huomioitiin ainoastaan kantaviin rakenteisiin ja valittuihin täydentäviin rakenteisiin liittyvät rakennetyypit. Tällöin väliseinien rakennetyypit jätettiin työssä huomiotta. Niiden määrälaskenta kustannusarviota varten toteutettiin arkkitehdin suunnitelmista muilla menetelmillä.

Seuraavissa luvuissa 3.2.1-3.2.3 käydään läpi materiaalikohtaisia suunnitteluperusteita.

3.2.1 Betonirakenteet

Betonirungon suunnittelussa tulee ottaa yleisten lähtötietojen lisäksi huomioon rasitusolosuhteiden mukaan määräytyvät rasitusluokat, betonipeitteen paksuus sekä toteutus- ja toleranssiluokka.

Rasitusluokkaan vaikuttaa luonnollisesti rakenteelle kohdistuva rasitus. Rasituksia ovat karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio, kloridien aiheuttama korroosio, meriveden aiheuttama korroosio, jäädytys-sulatusrasitus ja kemiallinen rasitus. Rasitusluokat (SFS-EN 206-1) määritettiin kohteelle seuraavasti:

- Rakennuksen sisäpuoliset rakenteet: XC1
- Perustukset: XC2

- Sandwich-sokkeli
 - o Sisäkuori: XC1
 - o Ulkokuori: XC3, XD1, XF2

Betonipeitteen tarkoitus on taata betoniterästen tartunta sekä tarjota teräksille korroosiosuoja ja riittävä palonkestävyys. Betonipeitteen paksuus määräytyy betonipeitteen vähimmäisarvosta ja sallitusta mittapoikkeamasta, joka on tyypillisesti 10 millimetriä. Betonipeitteet määritettiin seuraaviksi:

- Rakennuksen sisäpuoliset rakenteet: 30mm (± 10 mm)
- Perustukset: 50mm (± 10 mm) (maata vasten), 30mm (± 10 mm) muualla
- Sokkeli
 - o Sisäkuori: 20mm (± 10 mm)
 - o Ulkokuori: 45mm (± 10 mm)

Toteutusluokaksi (SFS-EN 13670) määritettiin 2 ja toleranssiluokaksi (SFS-EN 13670) normaali (N) (Betonielementtien toleranssit 2011).

3.2.2 Liimapuurakenteet

Liimapuurakenteilla jokaiselle kuormalle asetettiin sille sopiva aikaluokka. Omille kuormille ja varastokuormille asetettiin pysyvä aikaluokka, lumelle ja välipohjan hyötykuormalle keskipitkä aikaluokka ja tuulelle hetkellinen aikaluokka. Kaikille mitoitettaville puurakenteille asetettiin käyttöluokka 1 (RIL 205). Käyttöluokan ja aikaluokan yhdistelmällä saatiin määritettyä muunnoskertoimet k_{mod} . Liimapuulle ja määritetyille aikaluokille muunnoskertoimet olivat

- $k_{mod} = 0,60$ kun käyttöluokka on 1 ja aikaluokka pysyvä
- $k_{mod} = 0,80$ kun käyttöluokka on 1 ja aikaluokka keskipitkä
- $k_{mod} = 1,10$ kun käyttöluokka on 1 ja aikaluokka hetkellinen

Toteutusluokaksi (SFS 5978) määritettiin TL2 ja toleranssiluokaksi (SFS 5978) 2.

3.2.3 Teräs- ja liittorakenteet

Teräsrakenteille on tärkeää määrittää käyttö-, tuotanto-, toteutus-, toleranssi ja ympäristöluokat sekä esikäsitteilyaste. Toteutusluokka määrää myös hitsausluokan. Nämä kaikki määräytyivät seuraaviksi:

- Käyttöluokka: SC1
- Tuotantoluokka: PC2
- Toteutusluokka (SFS-EN 1090-2): EXC2
 - o Hitsausluokka (SFS-EN ISO 5817): C
- Toleranssiluokka (SFS-EN 1090-2): 1

- Ympäristöluokka: C2/C3
- Esikäsittelyaste: P2

3.3 Alustava rakennesuunnittelu

Rakennukselle tehtiin alustava rakennesuunnittelu kaikilla kolmella runkovaihtoehdolla. Jokaiselle runkoratkaisulle valittiin rakenneyhdistelmät, joilla alustavaa suunnittelua tehtiin. Rakennus mitoitettiin lähtökohtaisesti taulukossa 16 esitetyillä runkorakenneyhdistelmällä. Vaihtoehtoja muokattiin tarvittaessa suunnittelun edetessä, mikäli laskenta sen osoitti. Kaikissa runkoratkaisuissa päätettiin pilareiden sijainti pitää vakiona, jotta rakennuksen käyttömahdollisuudet ja katon muoto pysyvät samana. Tämä tarkoitti sitä, että pääkehä suunniteltiin kaikissa runkovaihtoehtoisissa kolmella jännevälillä ja neljällä pilarella. Toimistossa pilareiden poikkeamat voitiin hyväksyä.

Taulukko 16. Runkovaihtoehtojen alustavat rakenneyhdistelmät.

Rakenneosa	Runko		
	1. Betoni	2. Liimapuu	3. Teräs/liitto
Päärunko			
yläpohja	TT-laatta	puukattoelementti	kantava poimulevy
sekundäärikannatin	-	-	teräspalkki
pääkannatin	HI-palkki (jm = 24m) I-palkki (jm = 12m) suorakaidepalkki (pääty) (jännitettyjä)	harjapalkki (jm = 24m) suorakaidepalkki (jm = 12m / / pääty) (liimapuuta)	teräsristikko (jm = 24m) teräspalkki (jm = 12m / pääty)
pilari	betonisuorakaidepilari	liimapuusuorakaidepilari	suorakaideliittopilari
Toimisto			
välipohja	ontelolaatta	puuvälipohjaelementti	ontelolaatta
pääkannatin	leukapalkki (jännitetty)	liimapuusuorakaidepalkki	WQ-palkki
pilari	betonisuorakaidepilari	liimapuusuorakaidepilari	suorakaideliittopilari

Kaikissa runkovaihtoehtoisissa oli samat täydentävät rakenteet eli tässä työssä ulkoseinä-rakenne, alapohjarakenne, siirtymälaatat, muurirakenteet, väestönsuoja, porrashuone, salaojat, routasuojaukset ja julkisivun tukirakenteet.

3.3.1 Kuormat

Kuormia sovelletaan kuhunkin runkoratkaisuun tarkoituksenmukaisesti. Kuormat ovat SFS-EN 1991-1-1, 1991-1-3 ja 1991-1-4 ohjeistusten mukaiset.

Pysyvät kuormat

- rakenteiden omat painot
- kattorakenteet
 - o määräytyy sekundäärikannattimen mukaan, esim. puisessa kattoelementissä kattorakenteiden kuormat sisältyvät suurilta osin sekundäärikannattimen painoon

- ulkoseinä
 - sandwich-paneeli (230mm): $24,2 \text{ kg/m}^2$ / $0,24 \text{ kN/m}^2$
 - sandwich-sokkeli: mitoituksen mukaan
- ripustuskuorma: $0,2 \text{ kN/m}^2$ (+ IV-koneet toimiston vieressä I-palkkeihin 2000 kg/kpl)
- väliseinäkuormat: $0,5 \text{ kN/m}^2$
- lisävaakavoima
 - pystykuorma/200 jaettuna viivakuormiksi molempiin suuntiin

Muuttuvat kuormat

- lumikuorma (huomioitava mahdollinen kinostuminen)
 - peruslumikuorma $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- tuulikuorma (seinät, katto, katon ja seinien kitkasta aiheutuva vaakasuuntainen tuulikuorma)
 - perustuulikuorma $q_w = 0,52 \text{ kN/m}^2$
- hyötykuorma
 - varasto: 40 kN/m^2 tai 200 kN (luokka E)
 - toimisto: $2,5 \text{ kN/m}^2$ (luokka B)
- lisävaakavoima
 - pystykuorma/200 jaettuna viivakuormiksi molempiin suuntiin

3.3.2 Rakennemallit

Kaikki rakenteet mitoitettiin lähtökohtaisesti 90 prosentin käyttöasteelle niillä tiedoilla, mitä oli käytettävissä. Erilaisten rakenteiden lukumäärä pyrittiin kuitenkin pitämään mahdollisimman pienenä valiten rakennuksesta kriittisimmät paikat. 90 prosentin käyttöastetavoite ei vastaa luonnosvaiheen rakennesuunnittelun perinteistä menettelyä, jossa muutoksia varten otetaan isompaa varmuutta rakenteille. Korkeampi käyttöaste voidaan kuitenkin varauksella tässä vaiheessa hyväksyä, koska hallirakenteissa muutoksia voidaan olettaa tulevan vähemmän. Tyypillisesti luonnosvaiheen suunnittelussa esimerkiksi kattorakenteille sovelletaan tiukempaa käyttöastetta kuin perustuksille.

Kaikki rakenteet mitoitettiin siten, että rakennuksen vapaa korkeus pidetään lukittuna ja kantavan rungon ulkomitat vakiona. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että vesikaton palkkikoon suurentuessa, harjakorkeus kasvoi ja pilareiden pituus pysyi vakiona. Tässä poikkeuksena oli pääkehän reunimmainen 12 metrin jänneväli, jossa yhteen suuntaan vinon palkin harjakorkeus sovitettiin pidemmän jännevälin mukaiseksi. Puolestaan pilarikoon muuttuessa, rakenneosat kasvoivat rakennuksen ulkoreunoilla sisäänpäin, jolloin pilarin sivu pysyi rakennuksen moduulilinjassa.

Pää- ja päätykehä

Rakennuksen pääkehä koostuu kolmilaivaisesta kehästä jänneväleillä 12 – 24 – 24 metriä. Pääkehän palkit ajateltiin kiinnittyväksi nivelellisesti pilareihin, lukuun ottamatta liittorungon pääkehää. Liittorungon pääkehässä teräsristikko kiinnittyy liittopilariin jäykästi, jotta pilarin nurjahduspituutta saatiin pienennettyä.

Pääkehän pilarit mitoitettiin mastopilareina jäykistäen rakennuksen lyhyen suunnan. Pääpalkkien päälle tulevat sekundäärirakenteet ovat yksiaukkoisia ja ajateltiin niiden liittyvän palkkiin nivelellisesti. Teräsrakenteisessa rungossa pääkannattimien päälle asennettiin katto-orret, jotka käänsivät kantavien poimulevyjen kantosuunnan ja pienensivät niiden jänneväliä. Rakennuksen vesikattoon tulee kallistukset liitteen 7 leikkauskuvan mukaisesti.

Pääkehien väliin mitoitettiin tuulipilarit tukemaan julkisivuelementtejä. Betoni- ja liimapuurungossa tuulipilarit eivät rakennuksen pitkällä sivulla ota vastaan vesikaton pystykuormia vaan ainoastaan vaakasuuntaisen tuulirasituksen julkisivulta. Teräsrunko oli poikkeus tässä tapauksessa, jossa tuulipilari tukeutuu reunimmaiseen kattovasaan. Reunimmaisina kattovasa käännettiin siten, että sen vahvempi taivutussuunta on seinän tuulikuorman suuntainen. Tällä saatiin pienennettyä tuulipilarin nurjahduspituutta. Reunimmainen kattovasa ottaa vastaan myös pystykuormia, mutta kattovasojen jaon ollessa pieni, kestää vasa taivutuksen myös heikompaan suuntaan.

Rakennuksen päätykehissä pilarit ottavat vastaan sekä pysty- että vaakasuuntaista rasi- tusta. Pilarien jako päädyissä on 6 metriä.

Toimisto

Toimisto on kaksikerroksinen ja kerroskorkeudeksi määritettiin välipohjan kanssa 3 metriä, jolloin pilarit ovat pituudeltaan reilut 6 metriä, koska pilari menee perustuksiin asti. Toimistossa pilareita asetettiin pääkehälinjoille 6 metrin jaolla, jolloin toimiston palkki- linjat tulivat samoille linjoille kuin pääkehän pilarit. Tässä tapauksessa välipohjan jänne- väliksi tuli sama kuin pääkehien jako eli 12 metriä. Liimapuussa jouduttiin jänneväliä pienentämään puolella, jotta puuvälipohjaelementtiä voitiin käyttää. Betoni- ja liittorun- goissa välipohjakentän koko on siis 6 m x 12 m ja liimapuussa 6 m x 6 m. Kaikissa run- goissa toimiston pienemmät pilarit ovat kaksikerrospilareita kannatellen kahta välipohjaa. Osa välipohjan kuormista vietiin pääpilarin kautta perustuksille eli niissä paikoissa, missä pääkehän pilari osuu välipohjan kohdalle.

Jäykistys

Betonirunko jäykistettiin lyhyemmässä suunnassa pääkehän mastopilareiden avulla. Ra- kennuksen pidemmässä suunnassa kaikki hallin pilarit toimivat mastoina ja kuormat vie- tiin jäykistäville rakenteille TT-laattojen kautta.

Liimapuurunko jäykistetään lyhyemmässä suunnassa kuten betonirunko eli pääkehän mastopilareiden avulla. Rakennuksen pidemmässä suunnassa kehä jäykistettiin päätykehien pilareiden ja palkkien avulla sekä kattoelementtien avulla.

Teräs-/liittorungossa lyhyemmän suunnan jäykistys tapahtui pääkehän avulla. Rakennuksen pidemmässä suunnassa jäykistys tapahtui levyjäykistyksellä katto-orsien kanssa.

Muut rakenteet

Hallin julkisivurakenteena on sandwich-sokkeli, jonka päälle on asennettu kevyt, 1200 mm leveä ja 230 mm paksu sandwich-paneeli. Sandwich-paneelit asennetaan vaakasuoraan pääkehältä pääkehälle. Sandwich-elementit eivät kuitenkaan kestä tuulirasitusta 12 metrin jännevälillä, joten ne tuetaan vaakasuunnassa tuulipilareihin. Sandwich-paneelit ovat itsensä kantavia, joten niistä ei aiheudu pystykuormaa muuta kuin sandwich-sokkeleille. Sandwich-sokkelit asennettiin 6 metrin pituisina elementteinä pääkehän perustukselta tuulipilarin perustukselle. Sokkelit mitoitettiin palkkeina, vaikka muutamassa kohdassa sokkeli tukeutuu jatkuvan anturan päälle.

3.3.3 Valitut poikkileikkaukset ja materiaalit

Tässä työssä ei esitellä tarkemmin alustavan rakennesuunnittelun laskelmia. Kaikki laskelmat perustuvat Eurokoodiin ja yleisesti käytössä oleviin suunnitteluohjeisiin. Kuormat ja rakenteiden alustavat profiilit on määritetty käyttäen SKOL-laskentapohjia (tai vastaavia laskentapohjia), elementtisuunnittelu.fi-sivuston kantokykykäyriä ja valmistajien ohjelmistoja. Rakenteiden profiileja on tarkennettu kehälaskennassa tarpeen ilmetessä. Liitteessä 10 esitetty jokaisen rungon kohdalla, kuinka kukin rakenneosa on mitoitettu ja mil-laiseen poikkileikkaukseen ja materiaaliin on päädytty.

3.3.4 Huomioitavaa laskennasta

Kaikki runkovaihtoehdot suunniteltiin saman tyyppisellä jäykistysperiaatteella, mikä ei ole kaikkien runkoratkaisujen osalta taloudellisin ratkaisu. Vähäinen kokemus vastaavaisista suunnittelukohteista ja diplomityöhön käytettävä aika vaikuttivat vahvasti valituihin suunnitteluratkaisuihin. Teräsrungon osalta todettiin tarjouspyyntöjen yhteydessä, että toisenlainen jäykistysratkaisu ja teräsrakenteisiin erikoistunut osaaminen toivat suuria materiaalisäästöjä. Tähän palataan tarkemmin luvussa 3.6. Laskennan tehokkuuden ja päämateriaalin optimaalisen käytön kannalta olisi tärkeää, että rakennesuunnittelijalla olisi vahva kokemus kyseisen rakennustyyppin suunnittelusta ja rungon päämateriaalien mitoituksesta. Tällöin laskennassa osataan huomioida kriittisiä seikkoja eli jättää toissijaisia asioita vähemmälle huomiolle ja pitää laskenta tehokkaana. Luonnosvaiheen laskennassa ja erityisesti vaihtoehtoisten rakenteiden tarkastelussa on tärkeää toteuttaa laskenta nopeasti ja yksinkertaisesti.

Paloluokka asetettiin suhteessa melko alhaiseksi, koska tällä haluttiin tehdä eri runko-vaihtoehtojen tarkastelusta järkevää. Lopputuloksena saadut rakenteet eivät täten välttämättä ole optimaalisia, mikäli vaaditaan korkeampaa paloluokkaa.

3.4 Tietomallinnus

Tietomallintaminen tehtiin Trimble Inc:n ohjelmistolla Tekla Structures 21. Työssä käytettiin suoraan Teklan alkuperäisformaattissa olevaa mallia eli natiivimallia määrätiedon tuottamiseen. Lähtökohtana suunnittelutyössä oli se, että rakennesuunnittelija tuottaa määrälaskenta-aineiston tilanteessa, jossa tehdään kantavan rungon vertailuja. Rakennesuunnittelijaa tulisi osallistaa rakennesuunnittelun kannalta haastavimmissa hankkeissa mukaan myös kustannuslaskentaan, jotta laskennan oikeellisuus varmistetaan ja suunnittelijan kustannusvastuun ymmärrys kasvaa. Oikean tiedon välittyminen IFC-muotoon on myös tärkeää, mutta sitä puolta ei tässä tapauksessa tutkittu.

3.4.1 Mallinnustarkkuus ja mallinnustyökalut

Mallinnuksen lähtökohta oli, että yleisesti määritettyjä mallinnusvaatimuksia ja hyvää mallinnustapaa noudatetaan määrä- ja kustannuslaskentaa varten luodun tietomallin tuottamisessa. Mallinnuksessa pyrittiin käyttämään kunkin rakenneosan mallintamiseen tarkoitettuja työkaluja ja hyödyntämään ainoastaan Teklan vakiotyökaluja, jotka ovat saatavilla kaikille käyttäjille ohjelmiston perusversiossa.

Mallinnustarkkuus pidettiin mahdollisimman pienenä mahdollisimman pitkälle, jotta mallin muutoskyky säilyi hyvänä. Jokaisesta rakenneosatyypistä mallinnettiin mallirakenneosia, joiden ominaisuuksia voitiin hyödyntää arvioimaan muiden rakenneosien ominaisuuksia ja varusteita. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että esimerkiksi betonirakenteissa jokaisen kokoiselle betonipilarille mallinnettiin malliin yksi mallielementti, joka sisälsi oikean raudoituksen, liitososat ja valutarvikkeet. Vaihtoehtoisesti elementeille olisi voinut syöttää raudoitusarvion muodossa kg/m^3 . Liitokset mallinnettiin myös ainoastaan näihin malliosiin. Liitososien ja tarvikkeiden kopiointi kaikkiin osiin olisi ollut todella helppoa, mutta mallin muutoskyky pysyi parempana, kun tarkempi suunnittelu tehtiin vain mallielementteihin. Riippuen kohteesta myös varustelun tarkkuustasoa voidaan säätää, koska tuoteosatoimittajat pystyvät antamaan tarjouksen myös todella vähäisellä tiedolla arvioiden elementteihin vakiovarusteet. Kireässä markkinatilanteessa voi jäädä tarjous jäädä kokonaan saamatta tai tarjous voi sisältää riskikerrointa.

Ennen mallintamisen aloittamista oli syytä valita nimeämis- ja numerointiperusteet, jotta oikeat tiedot syötetään osalle jo mallinnusvaiheessa. Työssä käytettyä nimeämis- ja numerointilogiikkaa käydään läpi tarkemmin luvussa 3.4.2. Myös moduulilinjasto on syytä päättää ennen mallintamisen aloittamista. Tässä tapauksessa moduulilinjasto valittiin toteutuvan kohteen perusteella arkkitehdin suunnitelmista.

Seuraavaksi käydään läpi runkotyypeittäin eri rakenneosien mallinnusta.

Betonirunko

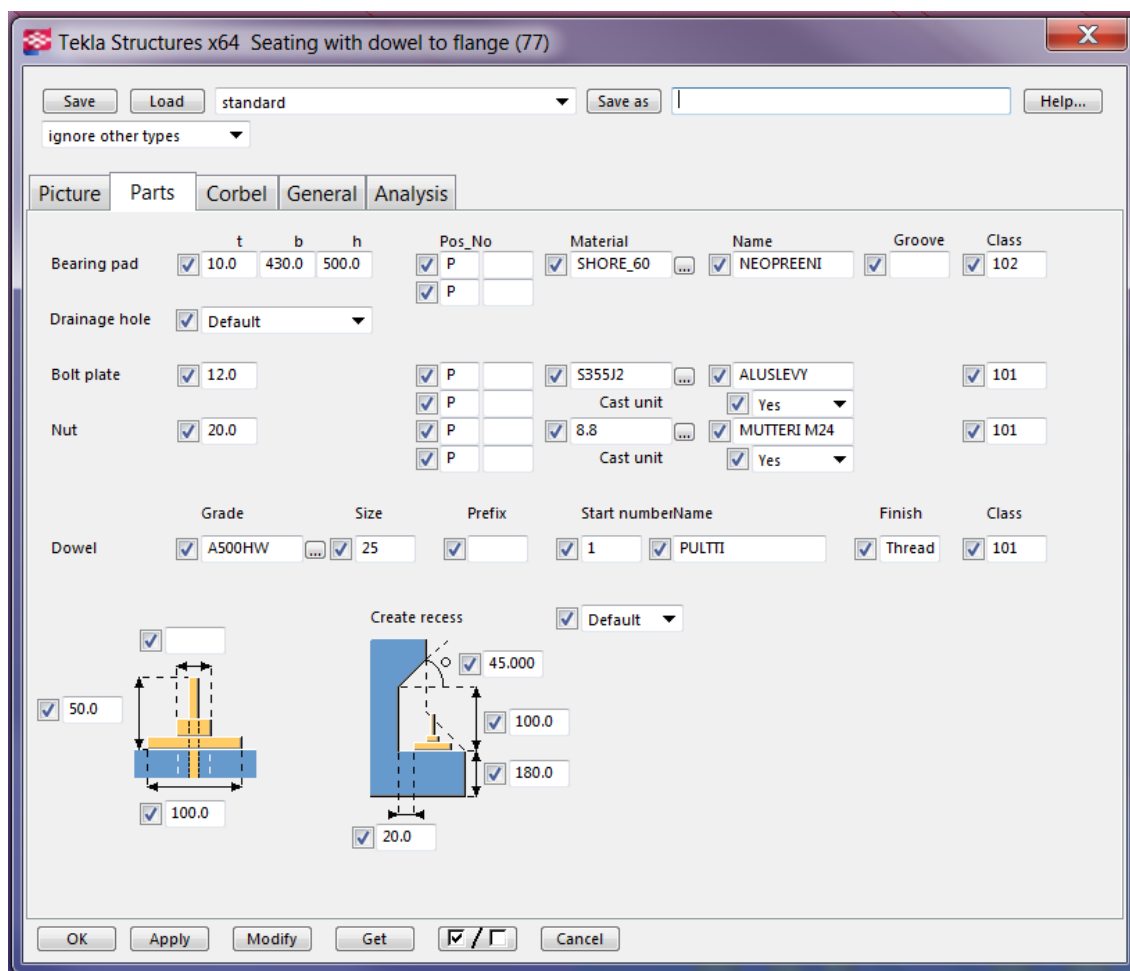
TT-laatat mallinnettiin betonipalkkina käyttäen profiilikirjaston TT-laattaprofiilia. TT-laattoihin leikattiin savunpoistoluukut ja asennukseen tarvittavat leikkaukset. Mallielementteihin liitettiin tyypilliset valutarvikkeet ja liitososat. Jotta aukot saatiin näkyviin malliosan osaluetteloon, leikkausosa liitettiin mallielementin kokoonpanoon eli assemblyyn. Jänteitä ei määritetty, koska rakenne- tai elementtisuunnittelija ei ota niihin tyypillisesti kantaa. Punostuksen ja betonilujuuden määrittää jännitettyihin rakenteisiin erikoistunut suunnittelija, joten materiaaliksi valittiin *Concrete_Undefined*. Punossuunnittelijaa varten määräluetteloon kirjattiin TT-laatoille tulevat tasokuormitukset.

Ontelolaatat mallinnettiin Teklan Floor Layout-työkalulla. Käytännössä työkalu luo valitulle alueelle tietyn suuntaiset ontelolaatat betonipalkkeina, joille on määritetty tyypillinen ontelolaattaprofiili. Ontelolaattoja ei tässä tapauksessa rei'itetty tai detaljoida tarkemmin. Jänteisiin ei tässäkään kohtaa oteta kantaa ja betonilujuus jätetään määrittämättä. Tasokuormat merkittiin määräluettelon yhteyteen.

Betonipalkit mallinnettiin betonipalkkityökalulla. HI-, I-, leuka- ja suorakaidepalkkien profiilit löytyvät kaikki Teklan profiilikatalogista. Pääkehällä mallinnettiin liitokset TT-laattoihin ja pilareihin. Yhteen HI-palkkiin ja I-palkkiin määritettiin yleisten suunniteluohjeiden mukaisesti niin sanottu systeemiaukotus, josta läpivientejä voidaan vetää. Päätykehän mallipalkissa ja toimiston leuka- ja suorakaidepalkeissa mallinnettiin liitokset pilareihin. Toimiston palkkeihin mallinnettiin myös ontelolaattojen vaatima neopreeninauha. Jänteisiin ei tässäkään kohtaa otettu kantaa ja betonilujuus jätettiin määrittämättä. Viivakuormat merkittiin määräluettelon yhteyteen. Viivakuormat saa syötettyä myös yksittäisille palkeille, mutta tässä tapauksessa kuormien käsin syöttäminen määräluetteloon koettiin helpommaksi vaihtoehdoksi.

Betonipilarit mallinnettiin betonipilarityökalulla. Mallinnuspiste määritettiin pilareissa profiilin ulkoreunaan ja nurkissa profiilin ulkonurkkaan, jotta profiilia muuttaessa pilarin sijainti pysyy oikeana ja pilari suurenee rakennuksen sisäpuolelle. Nurkkapilareihin tukeutuvan palkin sijaintia voi joutua muuttamaan, mikäli pilarin koko muuttuu. Kaikissa pilareissa pilarianturan sijainti tulee tarkistaa, mikäli pilarin koko muuttuu, koska pilariantura halutaan useimmiten keskeisesti suhteessa pilariin. Mallielementteihin mallinnettiin raudoitukset sekä liitokset palkkeihin ja perustuksiin valmiilla liitoskomponenteilla. Palkkien pulttiliitoksia mallintamisessa tulee huomioida, että työssä määritetty valutarvikeluettelo ei tunnista pultteja valutarvikkeiksi vaan lisää ne raudoitusmääriin. Pultin suuruuden tulisi siis ilmetä esimerkiksi mutterin tiedoista. Tässä työssä asia ratkaistiin kirjoittamalla mutterin nimeen myös pultin koko (kuva 19). Samaan yhteyteen voisi kirjata myös pultin kierteytykset ynnä muut tiedot. Mallielementin osaluetteloa tulisi kehittää

niin, että se näyttää myös pulttiliitokset. Toimistossa konsoliliitokset mallinnettiin kaikkiin pilareihin konsolikomponentilla, jotta elementtiluettelosta mittojen perusteella voidaan tulkita, missä pilareissa on konsolit. Kiinnityslevyt ja vastaavat valutarvikkeet löytyvät Tekla Warehouse-palvelusta, joista ne voi tuoda malliin käytettäväksi. Julkisivutuki pilarin yläpäähän mallinnettiin teräspilarina. Betonin ja raudoitusten materiaalit asetetaan suunnittelun mukaisiksi.

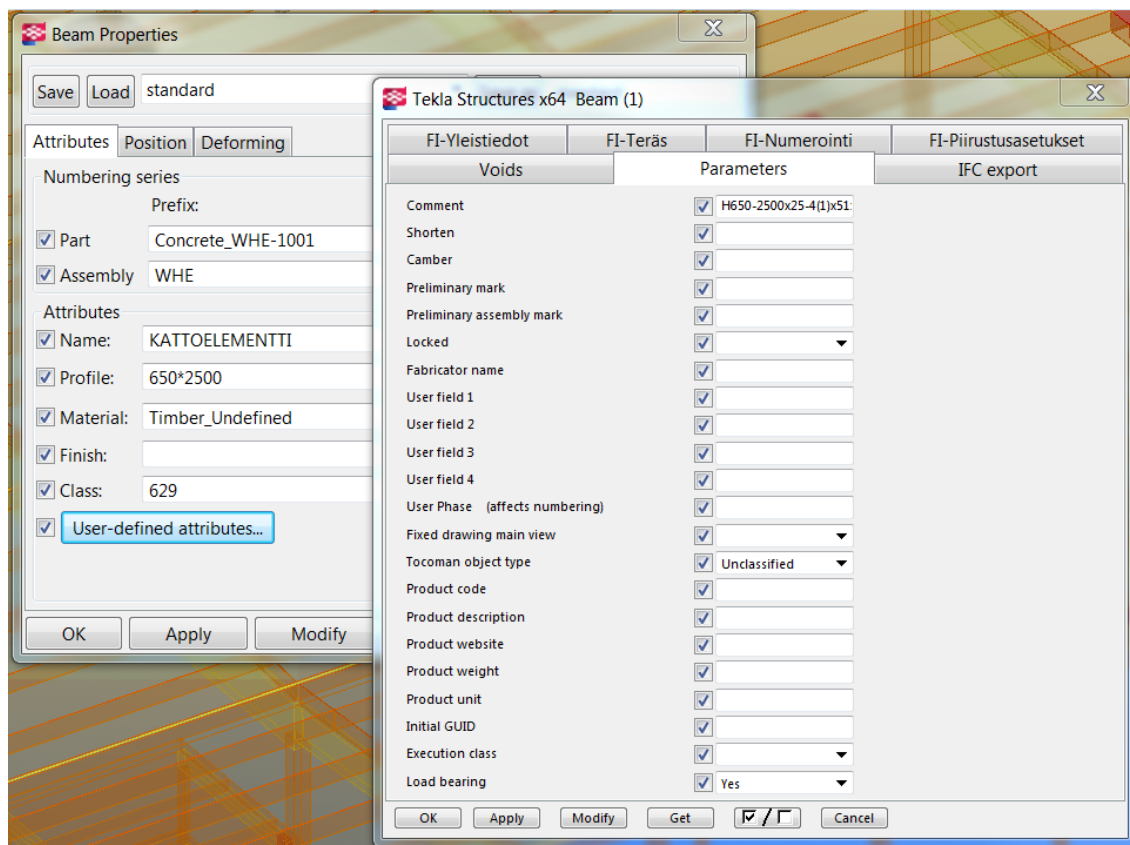


Kuva 19. Pultin tietojen syöttäminen mutterille liitostyökalan yhteydessä.

Liimapuurunko

Puukatto- ja välipohjaelementit mallinnettiin elementin ulkomittojen mukaan palkkityökälulla. Materiaaliksi määritettiin *Timber_Undefined*, koska puuelementti koostuu erikoisista palkeista ja levyistä, jotka puuelementtitehdas määrittää. Mitoitetun rakenteen valmistajan mukainen merkintätapa kirjattiin kokoonpanon *Comment*-kenttään, josta tieto haetaan mukaan määräluetteloon (kuva 20). Katto- ja välipohjaelementtien määräluetteloon kirjattiin kuormat, jotta tuoteosavalmistajan on mahdollista tehdä omia tarkasteluja tai vaihtoehtoisia tarjouksia. Puuelementteihin leikataan savunpoistoluukkujen ja asennuksen vaatimat reiät. Puukattoelementtien tapauksessa rei'itys ilmenee ainoastaan

IFC-mallin puolelta, koska puukattoelementeistä ei tehdä malliosia tai malliosien luetteiloita. Tässä oletetaan, että elementtivalmistaja määrittää kaiken detaljoinnin.

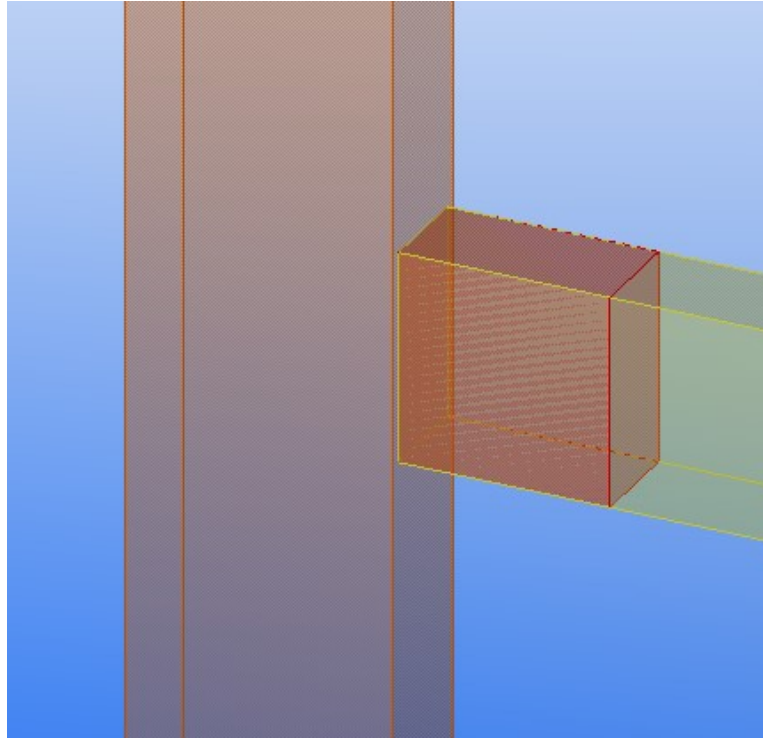


Kuva 20. Comment-kenttä.

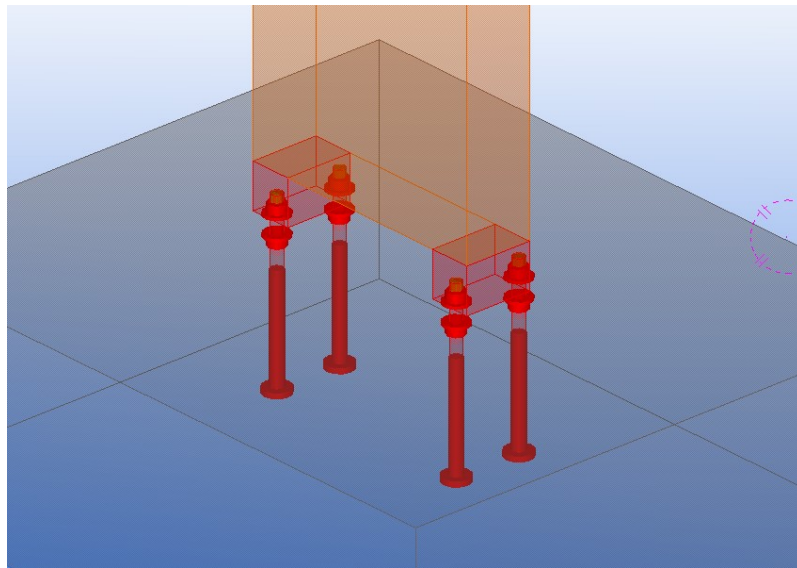
Liimapuupalkit mallinnettiin palkkityökalulla ja määritettiin materiaali suunnittelun mukaiseksi. Harjapalkille löytyy oma profiilinsa profiilitietokannasta. Pääkehän kahteen harjapalkkiin ja yhteen suorakaidepalkkiin mallinnettiin kiinnityslevyt kuvaamaan tukipintojen liimatankolevyjä. Liimatankojen paksuudet ja pituudet jouduttiin kirjaamaan käsin määräluetteloon, koska raudoitukset eivät näy osaluettelossa. Palkkien määräluetteloon listattiin varmuuden vuoksi kuormat.

Liimapuupilarit mallinnettiin pilarityökalulla ja määritettiin materiaali suunnittelun mukaiseksi. Kuten betonirungossakin, mallinnuspiste määritettiin pilareissa profiilin ulko-reunaan ja nurkissa profiilin ulkonurkkaan, jotta profiilia muuttaessa pilarin sijainti pysyy oikeana. Palkin ja pilarianturoiden sijainti tulee tarkistaa, jos pilarin kokoa muutetaan. Pääkehän pilareihin mallinnettiin hankolautaliitoksen puut ja tehtiin mahdolliset leikkaukset pilareiden yläpäihin. Toimistossa palkkien liitokset pilareihin mallinnettiin palkilla, jonka korkeus ja leveys ovat pilariin liittyvän palkin mittojen mukaiset. Tällöin luetteloon saadaan tieto siitä, että pilariin liitetään tietyn kokoinen palkki (kuva 21). Itse liitokseen ei tässä oteta kantaa. Konsolit mallinnettiin kaikkiin toimiston pilareihin, jotta liitoksen tarve ilmenee kaikissa toimiston pilareissa määräluettelon puolella. Puupilareihin

den pilarikenkiä ei löydy komponenttikatalogista, joten pilarikengät päädyttiin mallintamaan osien kokoisina palkkeina. Osat nimettiin oikean pilarikengän mukaisiksi ja liitettiin puupilariin. Samojen pilareiden perustuksiin liitettiin komponenttikatalogista peruspultit (kuva 22).



Kuva 21. Puupalkkien konsoliliitokset.



Kuva 22. Puupilarin perustusliitos.

Teräs-/liittorunko

Poimulevyt mallinnettiin teräspalkkeina ja haettiin oikea profiili profiilikatalogista. Materiaali määritettiin valmistajan määrittämäksi. Poimulevyihin leikattiin savunpoistoluukujen ja asennuksen vaatimat rei'itykset sekä suunnitteluohjeen mukaiset vahvistukset aukkojen ympärille. Vahvistusprofiilit mallinnettiin teräspalkkityökalulla.

Kattovasat ja muut teräspalkit mallinnettiin teräspalkkityökalulla. Profiili ja materiaali määritettiin suunnittelun mukaisiksi profiilikatalogin kautta. Pääkehän lyhyemmälle jänneväliä määritettiin tupla-IPE eli kahdesta vierekkäisestä IPE-palkista tehtiin yksi kokoonpano.

Teräsristikot mallinnettiin teräsristikkomponentilla. Komponentissa ristikon muoto ja geometria pystyttiin määrittämään, sekä valitsemaan erikseen ylä- ja alapaarteen sekä diagonaalien profiilit ja materiaalit. Komponentti muodostaa osista automaattisesti yhden kokoonpanon.

Liittopilarit mallinnettiin niille kehitetyllä komponentilla, joka luo teräsprofiilin, betonitöytön ja raudoitukset. Materiaalit määritettiin suunnittelun mukaisiksi. Kuten betonirungossakin, mallinnuspiste määritettiin pilareissa profiilin ulkoreunaan ja nurkissa profiilin ulkonurkkaan, jotta profiilia muuttaessa pilarin sijainti pysyy oikeana. Palkin ja pilarianturoiden sijainti tulee tarkistaa, jos pilarin kokoa muutetaan. Liittopilarissa profiilin koko, mallirauditus ja muut asetukset kopioituvat automaattisesti muihinkin liittopilarireihin, joten asetusten oikeellisuus tulee tarkistaa ennen kopiointia. Raudoituksen muuttuessa, uudet asetukset voidaan kopioida kaikille vastaaville liittopilareille kerralla, mutta virheen riski kasvaa ja muutosjoustavuus hieman huononee.

Teräsrungossa mitään liitoksia ei mallinnettu vaan liitososien määrän arvioitiin laskennassa olevan noin 5-10% koko rungon painosta, jota voidaan pitää luotettavaa arviona. Tällä säästetään merkittävästi suunnitteluun ja mallintamiseen kuluvaa aikaa.

Toimiston ontelolaatat mallinnettiin samalla tavalla kuin betonirungossa.

Pilarianturat

Pilarianturat mallinnettiin pilarianturatyökalulla ja perusraudoitukset valmiilla raudoituskomponentilla. Perustusliitoslaskelmissa ilmenneitä lisäraudoituksia ei mallinnettu tietomallin puolelle, vaan niiden raudoitusluettelot kopioitiin laskentaohjelmasta malliosien osaluetteloiden yhteyteen. Betonirungossa pilarin perustusliitoskomponentti liittää pilari-kengät automaattisesti pilariin ja peruspultit anturoihin. Liimapuu- ja teräsrungoissa peruspultit lisättiin perustuksiin komponenttikatalogista erikseen.

Täydentävät rakenteet

Julkisivu mallinnettiin ainoastaan yhdelle rungolle eli tässä tapauksessa betonirungolle. Sandwich-paneelit mallinnettiin aukotuksineen seinätyökalulla. Paneelit nimettiin vastaavan rakennetyypin mukaan tyylillä *USXX*. Julkisivupaneelien teräksiset tukirakenteet isojen oviaukkojen ja ikkunoiden kohdalla mallinnettiin teräspilareina ja palkkeina. Teräsosia ei detaljoitu vaan tässäkin oletettiin liitososien olevan noin 10% osien painosta.

Sokkelit mallinnettiin sokkelikomponentilla, jossa voidaan päättää rakennekerrosten paksuudet ja materiaalit, sekä yläreunan ja oviaukkojen detailointi. Lastauslaitureiden kohdalla korkomuutosten takia jouduttiin mallintamaan alareunaltaan vinoja sokkeleita, joissa päädyttiin leikkaamaan sokkelin alareunaa ja mallintamaan sokkelipalkki erikseen betonipalkkityökalulla. Sokkelit raudoitettiin seinän raudoitustyökaluilla ja lisättiin tarvittavat kiinnityslevyt ja nostolenkit komponenttikatalogista. Sokkeleista mallinnettiin kolme variaatiota, joissa aukotus poikkesi toisistaan.

Yläpohjarakennetta haluttiin kantavan kerroksen lisäksi mallintaa erikseen kokonaisneiliömäärien saamiseksi. Yläpohja mallinnettiin laattana ja siihen tehtiin tarvittavat aukotukset. Yläpohja nimettiin oikean rakenteen mukaisesti *YPXX*.

Alapohjat, siirtymälaatat ja routasuojaukset mallinnettiin laattana. Kunkin tyyppisestä alapohjasta tehtiin mallialue, jossa raudoitus mallinnettiin oikein. Määräluetteloon kirjattiin kyseisen alapohjatyypin mukaiset rakennekerrokset. Kantavien alapohjalaattojen liikuntasaumamat mallinnettiin palkkina ja nimettiin liikuntasauomoiksi. Liikuntasauomoista tavoiteltiin määräluetteloon vain juoksumetrimäärää, joten profiililla ei ole suurta merkitystä. Tunnus ja nimi tulee kuitenkin olla oikein, jotta ne eivät sekoitu oikeiden palkkien kanssa. Myös materiaali täytyy asettaa esimerkiksi metalliksi tai muoviksi, jotta sitä ei tunnisteta luetteloissa betoniosana.

Jatkuvat anturat mallinnettiin siihen tarkoitettulla työkalulla. Muurirakenteet mallinnettiin seinätyökalulla. Seinätyökalu ja jatkuvan anturan työkalu mahdollistavat mallintamisen yhtenäisenä jonona, mutta tässä täytyy varmistaa, että määrät tulevat oikein luetteloon. Tähän otetaan kantaa tarkemmin luvussa 3.5.

Salaojat mallinnettiin pyöreäprofiilisina palkkeina ja salaojakaivot lyhyinä pyöreinä pilareina. Näistä luettelointiin ainoastaan juoksumetrit ja kappalemäärät, joten profiililla ei ole merkitystä. Myöskään korkeusvaihteluita ei mallinnettu. Kuten liikuntasauomoissa, materiaali täytyy asettaa muoviksi, jotta sitä ei tunnisteta betoniosana.

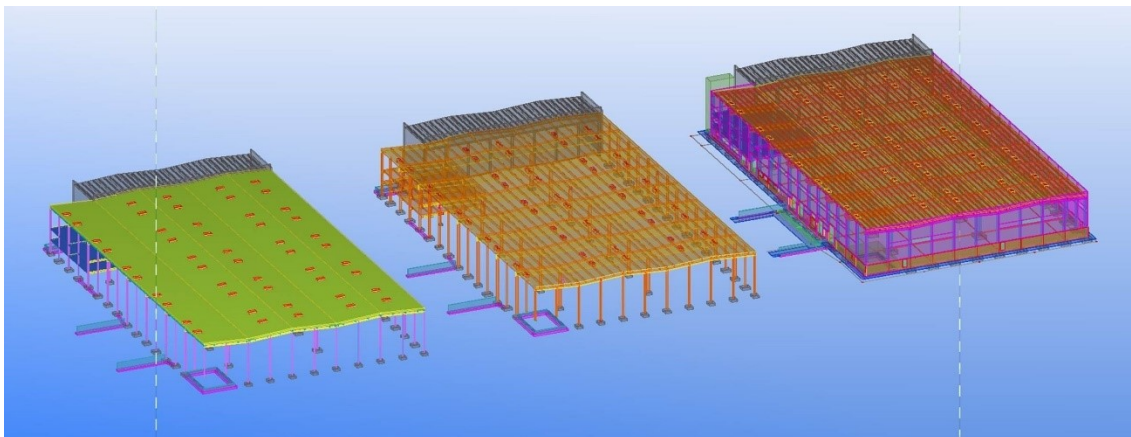
Väestönsuoja ja porrashuone oletettiin olevan tuoteosakauppana, joten ne mallinnettiin tietomalliin ainoastaan referenssiksi yksinkertaisina objekteina. Muista referensseistä poiketen väestönsuoja ja porrashuone liitettiin osaksi määräluetteloita.

Taulukossa 17 on koonti käytetyistä työkaluista ja määritetyistä materiaaleista.

Taulukko 17. Mallinnuksessa käytetyt työkalut ja materiaalit

Rakenneosa	Työkalu	Materiaali
BETONIRUNKO		
TT-laatta	betonipalkki-työkalu	Concrete_Undefined
Palkit		
HI-palkki	betonipalkki-työkalu	Concrete_Undefined
I-palkki	betonipalkki-työkalu	Concrete_Undefined
Leukapalkki	betonipalkki-työkalu	Concrete_Undefined
Suorakaidepalkki	betonipalkki-työkalu	Concrete_Undefined
Pilarit	betonipilari-työkalu	Suunnittelun mukaan
Ontelolaatat	Floor Layout-komponentti	Concrete_Undefined
Rakenneosa	Työkalu	Materiaali
LIIMAPUURUNKO		
Puukattoelementti	teräspalkki-työkalu	Timber_Undefined
Palkit		
Harjapalkki	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Suorakaidepalkki	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Pilarit	teräspilari-työkalu	Suunnittelun mukaan
Puuvälipohjaelementit	teräspalkki-työkalu	Timber_Undefined
Rakenneosa	Työkalu	Materiaali
TERÄS-/LIITTORUNKO		
Liittopilarit	liittopilari-komponentti	Suunnittelun mukaan
Teräsosat		
Kantava poimulevy	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Poimulevyn tuet	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Katto-orret	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Pääpalkki (IPE)	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Päätypalkki (HEB)	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
WQ-palkki	teräspalkki-työkalu	Suunnittelun mukaan
Ristikko	ristikko-komponentti	Suunnittelun mukaan
Ontelolaatat	Floor Layout-komponentti	Concrete_Undefined
Rakenneosa	Työkalu	Materiaali
PERUSTUKSET (KAIKKI RUNGOT)		
Perustukset		
Pilarianturat	pilariantura-työkalu	Suunnittelun mukaan
Jatkuvat anturat	jakuvien anturoiden työkalu	Suunnittelun mukaan
Muurit	betoniseinä/-paneeli -työkalu	Suunnittelun mukaan
VSS:n peruspilarit	pilariantura-työkalu	Suunnittelun mukaan
Rakenneosa	Työkalu	Materiaali
TÄYDENTÄVÄT RAKENTEET		
Sandwich-paneelit	betoniseinä/-paneeli -työkalu	Esim. Eristeen mukaan
Sandwich-sokkelit	Sokkeli-komponentti	Suunnittelun mukaan
Yläpohja	betonilaatta-työkalu	Esim. Eristeen mukaan
Alapohja	betonilaatta-työkalu	Betonilaatan mukaan
Aukkojen tukirakenteet	teräspilari/teräspalkki -työkalu	Suunnittelun mukaan
Liikuntasauamat	teräspalkki-työkalu	Muu kuin betoni
Siirtymälaatat	betonilaatta-työkalu	Betonilaatan mukaan
Routasuojaus	betoniseinä/-paneeli -työkalu	Eristeen mukaan
Salaojaputket	betonipalkki-työkalu	Muu kuin betoni
Salaojakaivot	betonipilari-työkalu	Muu kuin betoni

Kuvassa 25 on valmis tietomalli, josta luvun 3.5 määrät on laskettu.



Kuva 23. Valmis tietomalli.

3.4.2 Nimeäminen ja numerointi

Osien nimeäminen ja numerointi tehtiin Ramboll Finlandin numerointiohjeella, joka vastaa pitkälti alan yleisiä tietomallinnusohjeistuksia. Työssä käytettyä numerointiohjetta ei voida julkaista, mutta nimeämis- ja numerointiperiaatteet on esitetty taulukossa 18. Raudotteiden numerointi on jätetty ohjeesta pois, koska niiden nimeäminen ja numerointi eivät ole tärkeitä kustannuslaskennan kannalta. Raudotteiden numerointi tulisi tehdä projektikohtaisen numerointiohjeen mukaisesti, mikäli samaa mallia käytetään seuraavissa suunnitteluvaiheissa.

Jokaiselle osalle annettiin numerointiohjeen mukainen nimi, tunnus eli *prefix*, numerointisarja eli *start number* ja luokka eli *class*. Nimen tulisi olla hyvin kuvaava ja yksinkertainen. Tunnus puolestaan toimii osan lyhyempänä ja tarkentava tunnuksena, jota käytetään luetteloissa, kaavioissa ja piirustuksissa. Tunnus yhdistettynä numerointisarjaan antaa osalle yksilöivän tunnuksen. Numerointisarjoja käytetään tyypillisesti erottelemaan kerroksia tai lohkoja toisistaan. Numerointisarja antaa jokaiselle toisistaan poikkeavalle elementille oman numeron alkaen numerointisarjan luvusta (taulukko 18). Tässä tietomallissa numerointisarjaa käytettiin erottelemaan erilaiset saman rakenneosatyyppin osat, koska osia ei tarvitse numeroida ja yksilöidä määrälaskennan yhteydessä. Esimerkiksi betonirungon TT-laatoille valittiin sarjat 1001 ja 2001, joista 1001-sarja sisältää kaksi savunpoistoluukkuja ja 2001-sarja kaksi savunpoistoluukkuja ja yhden asennusleikkauksen. 1001-sarjan TT-laatat sijaitsivat kaikki katon keskellä ja 2001-sarjan laatat katon reunoilla. Aukottomille TT-laatoille ei tässä otettu omaa sarjaansa, koska ne olivat vain aukottomia mallielementtejä.

Taulukko 18. Esimerkkejä nimeämisestä ja numeroinnista.

Nimi	Tunnus (Prefix)	Numerointisarja (Start number)	Prefix + Start Number	Yksilöivä tunnus (esim. piirustusnumero)
HI-PALKKI	HI	1001	HI-1001	HI-1055
LIIMAPUUPILARI	WSC	2001	WSC-2001	WSC-2007
PILARIANTURA (TAI A1)	PV-A	3001	PV-A-3001	PV-A-302

Osan luokka määrää osan värin tietomallissa ja esiintymisen esimerkiksi piirustuksissa (viivatyypit- ja paksuudet) ja luetteloissa, mutta toimii myös yhtenä hyvänä keinona suodattaa tietomallin näkymiä tarvittaessa. Tämä on tärkeässä osassa määrälaskentaluetteloiden luonnissa.

Alla taulukossa 19 on esitetty jokaisesta rakenneosasta luotujen mallielementtien lukumäärät runkovaihtoehtojen mukaan. Taulukossa on ilmaistu myös kunkin mallirakenneosan nimi, tunnus ja sarja.

Taulukko 19. Mallielementtien lukumäärät, tunnukset ja numerointisarjat.

Rakenneosa	Nimi	Tunnus (Prefix)	Sarjat (Start number)	Mallielem. lkm
BETONIRUNKO				
TT-laatta	TT-LAATTA	TT	1001 - 2001	2
Palkit				5
HI-palkki	HI-PALKKI	HI	1001	1
I-palkki	I-PALKKI	I	1001	1
Leukapalkki	LEUKAPALKKI	JK	1001 - 2001	2
Suorakaidepalkki	SUORAKAIDEPALKKI	JK	3001	1
Pilarit	PILARI	P	1001 - 6001	6
Ontelolaatat	ONTELOLAATTA	O	1001	-
Perustukset				12
Pilarianturat	PILARIANTURA	PV-A	1001 - 6001	6
Jatkuvat anturat	JATKUVA ANTURA	PV-JA	1001 - 4001	4
Muurit	PERUSMUURI	PV-PM	3001 - 4001	2
VSS:n peruspilarit	PERUSPILARI	PV-PP	1	-

Rakenneosa	Nimi	Tunnus (Prefix)	Sarjat (Start number)	Mallielem. lkm
LIIMAPUURUNKO				
Puukattoelementti	KATTOELEMENTTI	WHE	1001	-
Palkit				3
Harjapalkki	HARJAPALKKI	WB	1001 - 2001	2
Suorakaidepalkki	SUORAKAIDEPALKKI	WB	3001	1
Pilarit	PILARI	WSC	1001 - 7001	7
Puuvälijohjalelementit	VÄLIPOHJAELEMENTTI	WHE	2001	-
Perustukset				14
Pilarianturat	PILARIANTURA	PV-A	1001 - 8001	8
Jatkuvat anturat	JATKUVA ANTURA	PV-JA	1001 - 4001	4
Muurit	PERUSMUURI	PV-PM	3001 - 4001	2
VSS:n peruspilarit	PERUSPILARI	PV-PP	1	-

Rakenneosa	Nimi	Tunnus (Prefix)	Sarjat (Start number)	Mallielem. lkm
TERÄS-/LIITTORUNKO				
Liittopilarit	LIITTOPIILARI	CC	1001 - 7001	7
Teräsosat				-
Kantava poimulevy	KANTAVA POIMULEVY	CS	1	-
Poimulevyn tuet	H- / C-kevytorsori	PU	1	-
Katto-orret	KATTOVASA	S	1001-2001	-
Pääpalkki (IPE)	PÄÄPALKKI	B	1001	-
Päätypalkki (HEB)	PÄÄTYPALKKI	B	2001	-
WQ-palkki	WQ-PALKKI	B	3001	-
RISTIKKO	RISTIKKO (osat prof. mukaan)	TR / TP	1, 1001-2001	-
Ontelolaatat	ONTELOLAATTA	O	1001	-
Perustukset				14
Pilarianturat	PILARIANTURA	PV-A	1001 - 8001	8
Jatkuvat anturat	JATKUVA ANTURA	PV-JA	1001 - 4001	4
Muurit	PERUSMUURI	PV-PM	3001 - 4001	2
VSS:n peruspilarit	PERUSPILARI	PV-PP	1	-

Rakenneosa	Nimi	Tunnus (Prefix)	Sarjat (Start number)	Mallielem. lkm
TÄYDENTÄVÄT RAKENTEET				
Sandwich-paneelit	US 01 / US 04	US	1	-
Sandwich-sokkelit	SOKKELIELEMENTTI	AN/AS	1	3
Yläpohja	YP 01_B / YP 01_LP / YP 01_T	YP	1	-
Alapohja	AP 01 - AP 05	AP	1	5
Aukkojen tukirakenteet	AUKKOJEN TUKIRAKENNE	FR	1	-
Liikuntasaumot	LIIKUNTASAUMA	LS	1	-
Siirtymälaatat	SIIRTYMÄLAATTA	PV-ML	1	1
Routasuojaukset	ROUTASUOJAUS	ROS	1	-
Salaojaputket	SALAOJAPUTKI	SOP	1	-
Salaojakaivot	TARKASTUSKAIVO / KOKOOJAKAIVO	SOK	1	-

3.4.3 Huomioitavaa mallintamisesta

Mallinnus, määrälaskenta ja kustannustiedon tarkastelu linkittyvät ja limittyvät vahvasti sekä iteroituvat toistensa vaikutuksesta. Jotta tiedetään, miten tulisi mallintaa, on tiedettävä, minkälaiseen määrätietoon kustannustieto linkittyy. Elementtien osalta määrälaskenta mittaa niitä yleensä kappaleittain ja pinta-aloittain, mutta tarjousten pyytämistä varten elementin tarkemmat ominaisuudet tulee listata eli tehdä suunnittelua hankintoja palvelevaksi. Elementeissä mallinnustarkkuutta määrää siis elementtitehtaan vaatimat lähtötiedot tarjousten tekemistä varten. Tavoitteena tässä työssä oli toimittaa ainoastaan elementti- ja valutarvikelistat ja lisäksi IFC-muotoinen tietomalli mallipiirustuksen sijaan. Yksinkertaisessa hallirakennuksessa elementtien identifioiminen ja hankkeen yleinen hahmottaminen pitäisi onnistua tätä kautta. Tässä työssä iterointi jäi melko vähäiseksi ajan puutteen vuoksi.

Tavoitteena oli pitää mallintaminen mahdollisimman pienitöisenä ja yksinkertaisena, koska kyseessä on luonnosvaiheen kustannuslaskenta. Hankkeessa on selvitettävä suhteellisen tarkasti yksittäisen rakenneosan osat ja niiden määrät tarjousten pyytämistä varten, jotta kustannuksiin päästään kiinni järkevällä tarkkuudella. Malliin mallinnetaan siis laskennassa määritetyt poikkileikkausprofiilit, raudoitukset (yksinkertaisella laskennalla määritetyt), mahdollisten konsolien lukumäärä ja koko ja valutarvikkeet (kiinnityslevyt, vemot, pultit, yms.). Tämä detaljointi tehdään kuitenkin vain jokaisen tyyppiselle tyyppielementille ja lukumäärät otetaan mallin avulla. Mikäli kustannuslaskijalla on laaja kustannustietokanta ja asiantuntemus markkinatilanteesta, voitaisiin mallielementin mallintaminen jättää ainakin osittain tekemättä. Muuttuvassa markkinatilanteessa tarkan hinta-arvion määrittäminen kustannuslaskijan toimesta on kuitenkin haastavaa. Elementtitehtaat tekevät myös oletuksia varusteluissa, mikäli elementtisuunnittelija ei ole niitä ilmoittanut. Elementtitehdas antaa kuitenkin sitä tarkemman tarjouksen, mitä tarkemmilla tiedoilla tarjousta pyydetään.

Mallinnus tehtiin käyttäen Teklan vakiotyökaluja, jotta kustannusmallin mallintaminen on mahdollista Teklan alkuperäisellä versiolla ilman lisäosia. Tässä rajoitukseksi muodostui, se että komponenttikatalogista ja Tekla Warehouse-palvelusta löytyy rajatusti erilaisia valutarvikkeita. Työssä on pyritty käyttämään yleisiä osia, jotka eivät valmistajariippuvaisia. Sopivan komponentin puuttuessa, voidaan osa korvata esimerkiksi palkilla, joka on nimetty oikean osan mukaisesti. Toisena vaihtoehtona Tekla Warehouse-palvelusta voidaan hakea tuotevalmistajien teettämiä komponentteja ja tarvittaessa nimetä ne geneerisesti, jolloin osaluettelossa näkyvä tuote ei ole valmistajariippuvainen. Poikkeavalla tavalla mallinnetuista osista olisi syytä tehdä tulkintaohje määrälaskentaa tekeväälle henkilölle.

3.5 Määrälaskenta

Tässä työssä keskityttiin runkoon liittyvään määrälaskentaan. Muut määrätiedot on saatu arkkitehtisuunnitelmista sekä määrälaskijan tekemien johtopäätösten ja oletusten kautta.

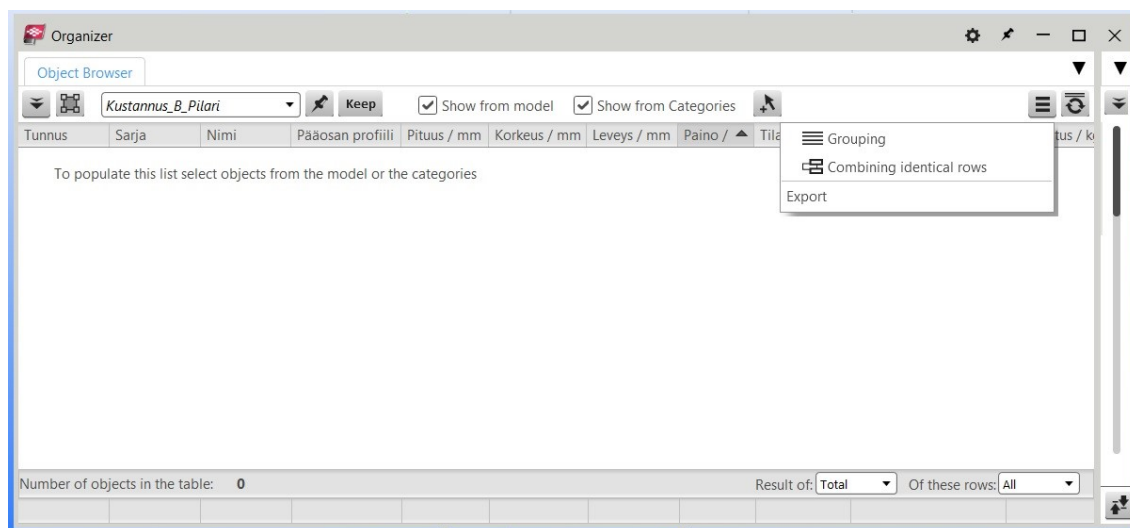
3.5.1 Määrälaskennan periaatteet

Tavoitteena on toteuttaa koko kantavan rungon määrälaskenta tietomallipohjaisesti. Käsin tehtävää laskentaa ja kirjaamista pyritään pitämään minimissä, koska virheiden riski kasvaa ja muutokset eivät päivitty suoraan tietomallin mukana.

Määrälaskennan pohjana toimi työssä osien tunnuksien eli *prefixit*, numerointisarjat eli *start numberit* ja luokat eli *classit*. Näiden avulla tietomallista suodatettiin kyseiseen laskentaluetteloon haluttavat rakenneosat. Määrälaskennassa otetaan huomioon, että kustannuslaskentaa varten toimitetaan määräluetteloiden lisäksi myös rakennetyypit, IFC-malli ja tietomalliselostus.

3.5.2 Määräluettelopohjien luonti

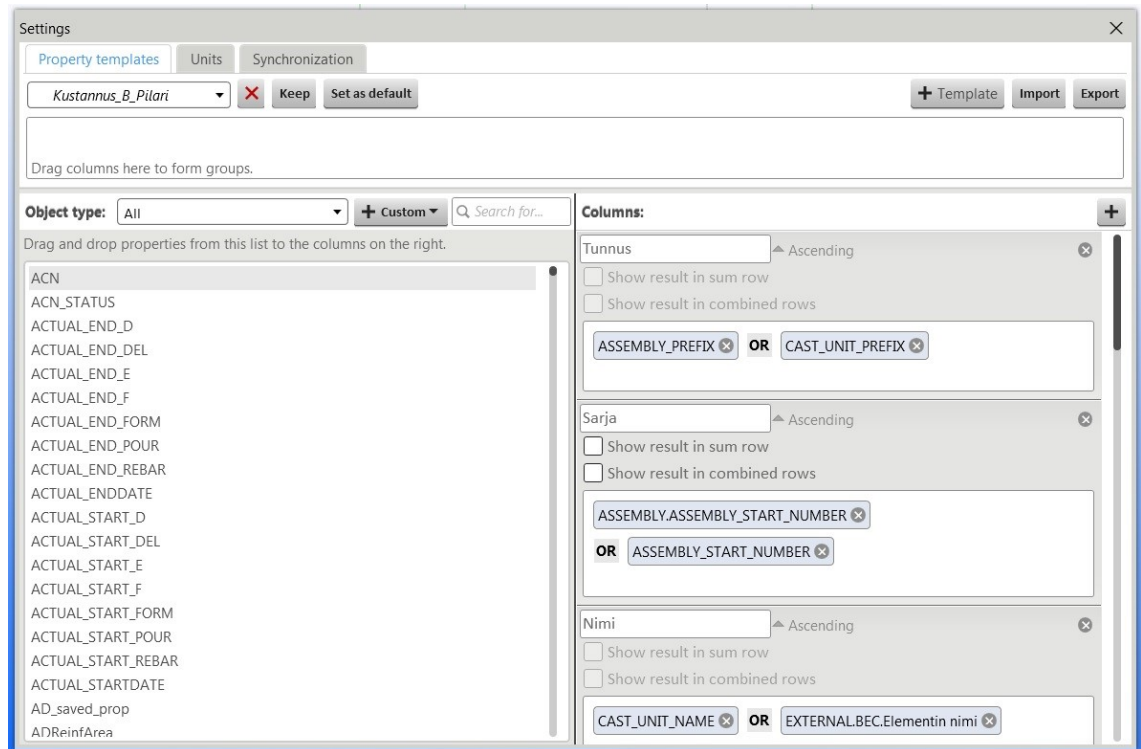
Määräluettelot tuotettiin Teklan *Organizer*-työkalulla, joka pyrkii korvaamaan aikaisemmin käytetyn luetteloiden tuottamiseen käytetyn *MultiReportGenerator*-makron. Organizer on käyttöliittymältään kuvan 24 mukainen. Organizer reagoi reaaliaikaisesti tietomallissa valittuihin osiin ja listaa valitun mallipohjan eli *templatien* mukaiset tiedot näkymäikkunaan. Luettelossa näkyviin tietoihin vaikuttaa voimakkaasti, se millä osavallinnalla valinta tehdään tietomallista, mitä tietomallissa on näkyvillä ja millaiset näkymäasetukset ovat.



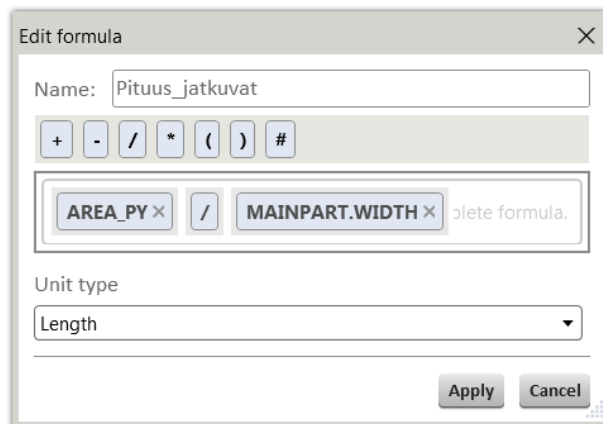
Kuva 24. Organizerin käyttöliittymä.

Organizerissa ohjelman käyttäjä voi käyttää jo tietokannassa olevia luettelopohjia, luoda omiaan niiden pohjalta tai luoda tyhjästä aivan uusia. Luetteloita luodaan nimeämällä lisättäviä asioita ja määrittämällä, mistä ominaisuudesta eli *propertystä* ohjelma hakee tiedon (kuva 25). Apua oikeiden muuttujien valintaan otettiin ohjelmassa valmiina olevista luetteloista, sekä elementtisuunnitelu.fi-sivustolta löytyvästä Betoniteollisuus ry:n julkaisemasta Tekla Structures muuttujat -ohjeistuksesta (Tekla Structures -muuttujat). Julkaisussa on käsitelty ohjelmaversiot 19.0, 19.1 ja 20.0, mutta osa muuttujista pätee myös uudemmassa 21.0 versiossa. Osa muuttujista löydettiin kokeilemalla ja paria listausta varten luotiin uusia muuttujia laskukaavojen avulla (kuva 26). Piirustus pohjien muokkaustyökalusta löytyi myös joitain oikeita muuttujia, koska piirustus pohjat hakevat samoja tietoja elementtisuunnitelmiin.

Luettelopohjilla voidaan hakea myös elementtien suunnitteluperusteita ja lähtötietoja piirustuksiin suoraan elementeiltä, mutta tässä tapauksessa päätettiin nämä tiedot syöttää käsin määräluetteloiden alkuun. Tämän tyyppisissä listauksissa kyseisiä tietoja ei tarvitse saada kaikilta elementeiltä erikseen, joten ne oli järkevämpää ilmoittaa kootusti. Vaihtoehto näiden tietojen hakemiselle suoraan tietomallista voisi olla tietojen syöttäminen rakenneosalle ja hakea suunnitteluperusteet niitä varten luodun luettelopohjan avulla.



Kuva 25. Luettelopohjan muokkaus.



Kuva 26. Itse luotu Property jatkuvien anturoiden pituudelle.

Tutkimusta varten luotiin tarvittava määrä luetteloita, joita oli lopulta 15 kappaletta. Joissain luettelopohjissa on paljon yhtäläisyyksiä, mutta sellaisia kriittisiä eroavaisuuksia, jonka takia luetteloita ei voinut yhdistää. Luetteloissa käytettiin tunnusta *B*, *LP* tai *T* (*B* = betoni, *T* = Teräs, *LP* = Liimapuu) tunnistamaan, mihin runkoon kyseinen luettelo liittyy. Tätä tutkimusta varten luotiin seuraavat luettelopohjat:

- Kustannus_Alapohja
- Kustannus_B_Palkit
- Kustannus_B_Pilarit
- Kustannus_Jm (juoksumetri)
- Kustannus_Jatkuvat anturat

- Kustannus_Kpl
- Kustannus_LP_Palkit
- Kustannus_LP_Pilarit
- Kustannus_LP_Elementit
- Kustannus_Ontelolaatat
- Kustannus_Perustukset
- Kustannus_Perusmuurit ja -pilarit
- Kustannus_SW-sokkelit
- (Kustannus_T_Teräsosat)
- Kustannus_TT-laatat
- Kustannus_Vaippa
- Kustannus_Valutarvikkeet

Luetteloita käytettiin tarvittaessa ristiin eri runkotyypeissä. Muun muassa perustukset, perusmuurit- ja pilarit ja jatkuvat anturat luetteloitiin kaikissa runkotyypeissä samoilla luetteloilla. Liittopilarirungon liittopilareiden betoniosat luetteloitiin *Kustannus_B_Pilarit* -luettelopohjalla. Teräsosat (teräsrunko ja julkisivun terästuennat) luetteloitiin lopulta vanhalla *MultiReportGenerator* -makron luettelopohjalla, joten Organizerin puolelle luotua luettelopohjaa ei käytetty lainkaan. Tähän palataan seuraavassa luvussa.

Luetteloista *Kustannus_Valutarvikkeet* -luettelo kaipaa eniten jatkokehitystä. Luotu luettelo listaa kaikki kokoonpanon osat kappaleittain ja ilmoittaa yksittäisen kappaleen nimen, materiaalin, pituuden, leveyden ja korkeuden. Kaikki nämä tiedot eivät välttämättä ole kyseessä olevan osan kannalta tärkeitä, mutta tällä tavalla kaikki osat saadaan luetteloitua ja geometriatietoa vaativat määrät laskettua mittojen kautta. Tutkimuksen aikana luotiin toinen luettelopohja, joka luetteloit osat samalla tavalla kuin elementtipiirustusten tarvikeluettelo, mutta tätä ei otettu käyttöön, koska luettelo jättää pois pääosan kanssa samaa materiaalia olevat osat, kuten pilarikonsolit ja vahvennokset.

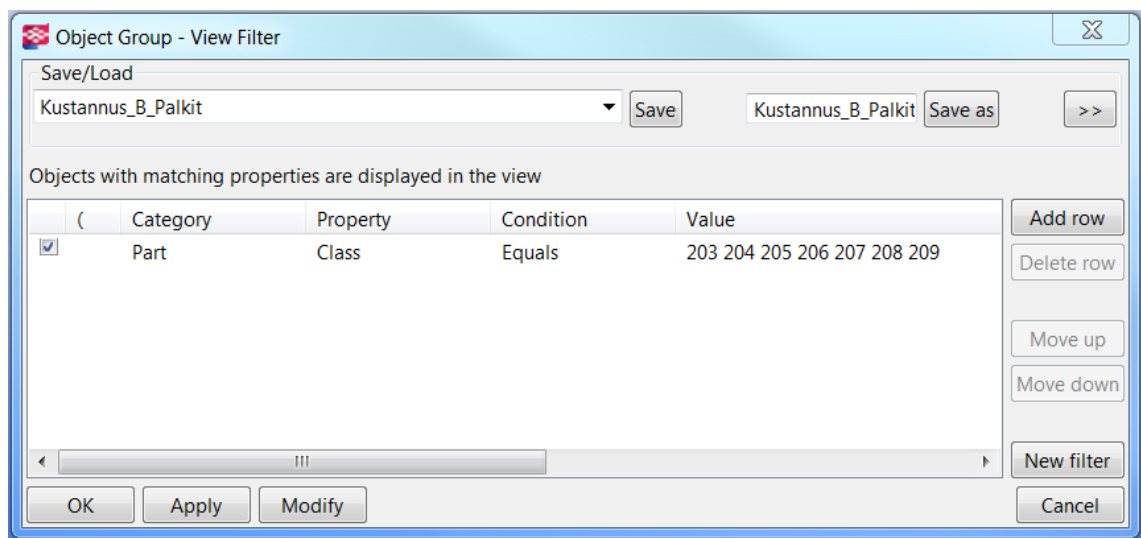
3.5.3 Määräluetteloiden tulostus

Määrätiedot tulostetaan Teklan Organizerin kautta kullekin rakenneosalle luodun luettelon avulla. On tärkeää tarkistaa, että luettelo tuottaa juuri halutut tiedot, koska valittu *property* voi lukea mittoja eri tavalla riippuen rakenneosasta ja sen mallinnustavasta. Esimerkiksi palkin korkeus saattaa lukeutua pituudeksi, jos sitä mitataan väärällä *propertyllä*.

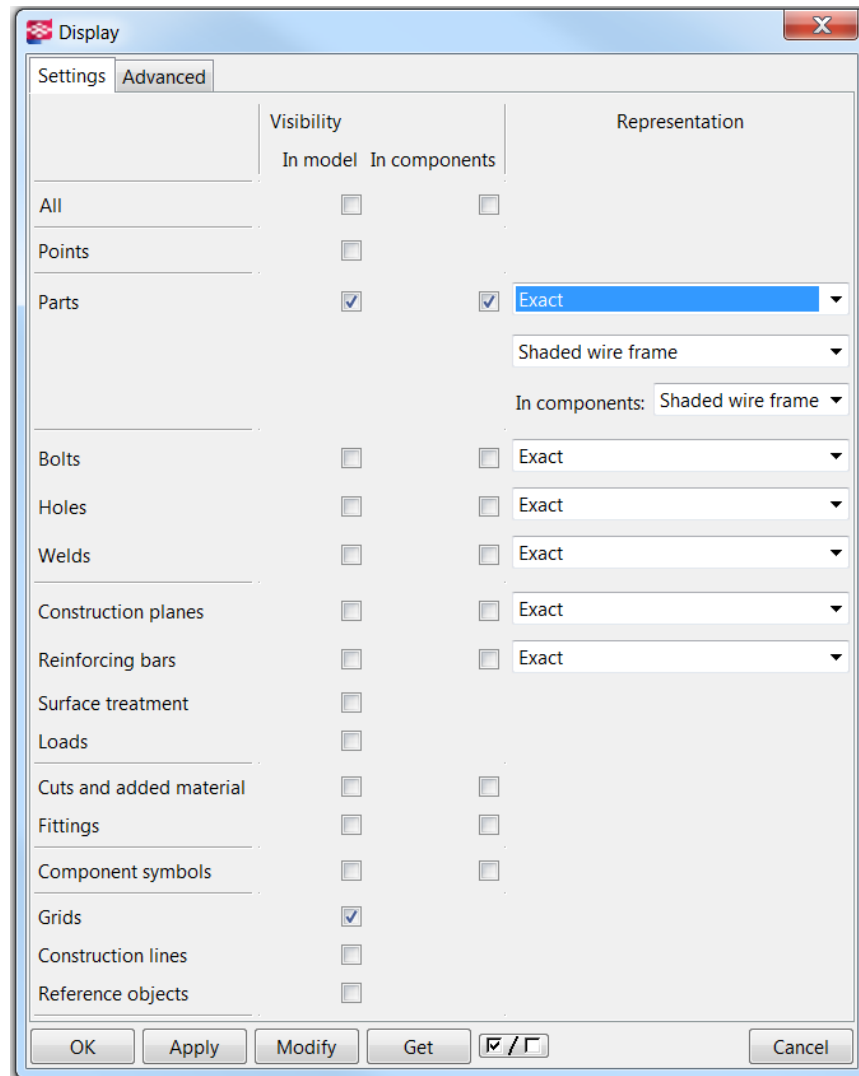
Organizer reagoi reaaliaikaisesti tietomallissa tehtäviin valintoihin, joten luettelon oikeellisuus on helppo tarkistaa ennen tulostusta. Organizer toimii myös toiseen suuntaan eli valittaessa Organizerin luettelosta rakenneosa, se värjäytyy mallin puolella oranssiksi. Näin on helppo paikantaa esimerkiksi väärän materiaalitiedon sisältävät osat.

Lähtökohtaisesti osia tai kokoonpanoja ei tarvitse numeroida määräluettelointia varten tutkimuksen tapauksessa, sillä pääosa luetteloista ei sisällä numeroinnin generoimaa tietoa. Teräsosaluettelo on tähän poikkeus, mutta tähän palataan myöhemmin tässä luvussa.

Määräluetteloihin listattavat osat suodatettiin käyttämällä Teklan näkymäsuodatinta eli Filteriä. Osia voi suodattaa luokan, nimen, materiaalin tai minkä tahansa muun ominaisuuden mukaan, mutta tässä tutkimuksessa suodatus tehtiin lähinnä luokan avulla (kuva 27). Suodatuksella saa näkyviin ainoastaan esimerkiksi betonipilariluetteloon haluttavat elementit suodattamalla vain luokan 201 osat. Osat voi myös suodattaa tunnuksen eli prefixin avulla. Suodattamisen jälkeen, ennen osien valintaa tulee varmistaa, että näkyvillä ovat ainoastaan osat ja halutessasi ristikko eli Grid (kuva 28). Mikäli esimerkiksi leikkausosat ovat näkyvissä, ne voivat aiheuttaa häiriötä tyhjien rivien muodossa luetteloa luodessa. Virheet tulevat huomatuksi useimmiten heti Organizerin näkymässä.



Kuva 27. Esimerkki osien suodattamisesta Teklan näkymäsuodattimen avulla.



Kuva 28. Näkymän Display-asetukset, kun luodaan rakennekokoonpanoluetteloita.

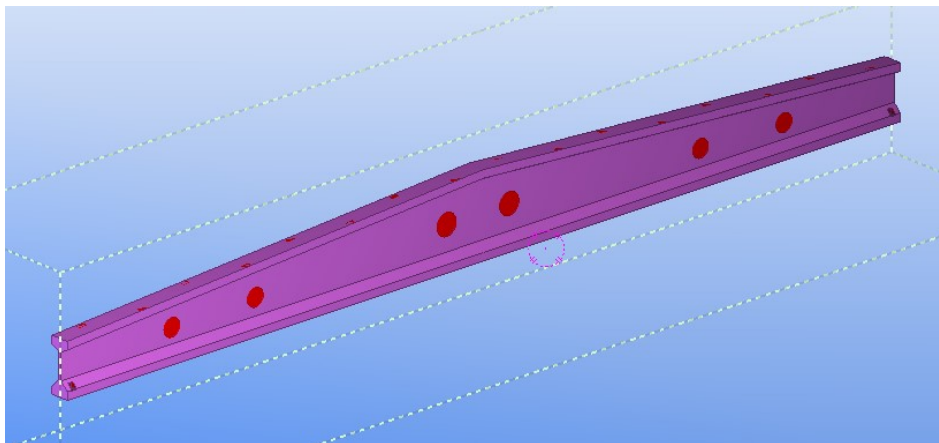
Elementtiluetteloita eli osien kokonaislistauksia luodessa käytetään valintanäppäimistä Assembly-valintaa (kuva 29). Näkymä kannattaa suurentaa siten, että kaikki rakenneosat ovat näkyvissä ja valita kaikki osat kerralla ikkunavalinnalla vasemmalta oikealle. Halutessaan osia voi myös valita yksitellen hiirellä *Ctrl*-näppäin pohjassa.



Kuva 29. Elementtiluettelon valinta-asetukset.

Malliosien osaluettelot luodaan niin ikään Assembly-valinnalla. Osaluetteloa varten malliosasta kannattaa ottaa oma näkymänsä valitsemalla osa *Assembly*-valinnalla ja klikkaamalla hiiren oikean näppäimen alta *Create View* → *3D-view*. Tällöin aukeaa uusi näkymäikkuna, jossa näkyy ainoastaan valitsemasi osa (kuva 30). 3D-näkymässä kannattaa tarkistaa, että kaikki rakenneosalle kuuluvat valutarvikkeet ynnä muut objektit ovat liittyneet osan kokoonpanoon. Mikäli joitain osia ei näy näkymässä, tarkoittaa tämä sitä, että osat eivät ole liittyneet kokoonpanoon. Tällöin osat täytyy käydä lisäämässä elementille.

Assembly-valinnan kautta luotu 3D-näkymä näyttää vain kokoonpanoon liitetyt osat. Näkymässä ei saisi myöskään näkyä ylimääräisiä esimerkiksi viereiseen rakenteeseen kuuluvia osia.



Kuva 30. Osan 3D-näkymä.

Perusasetuksilla osan 3D-näkymään tulee automaattisesti näkyviin pultit ja lisäosat, jotka saattoivat edellisessä näkymässä olla piilotettuina. Raudoitusten ja pulttien näkyvyydellä ei ole merkitystä tässä kohtaa. Jotta osaluetteloon tarvittavat tiedot luetteloituvat Organizeriin, osa valitaan *Assembly*-valinnalla ja lisäksi valitsemalla hierarkiatasoksi 1 (kuva 31). Hierarkiataason valinta tapahtuu pitämällä *Shift*-näppäin pohjassa ja rullaamalla hiiren rullaa. Hierarkiataaso näkyy valinta-asetusten oikealla puolella alhaalla *Pan* vasemmalla puolella.



Kuva 31. Osaluetteloiden valinta-asetukset.

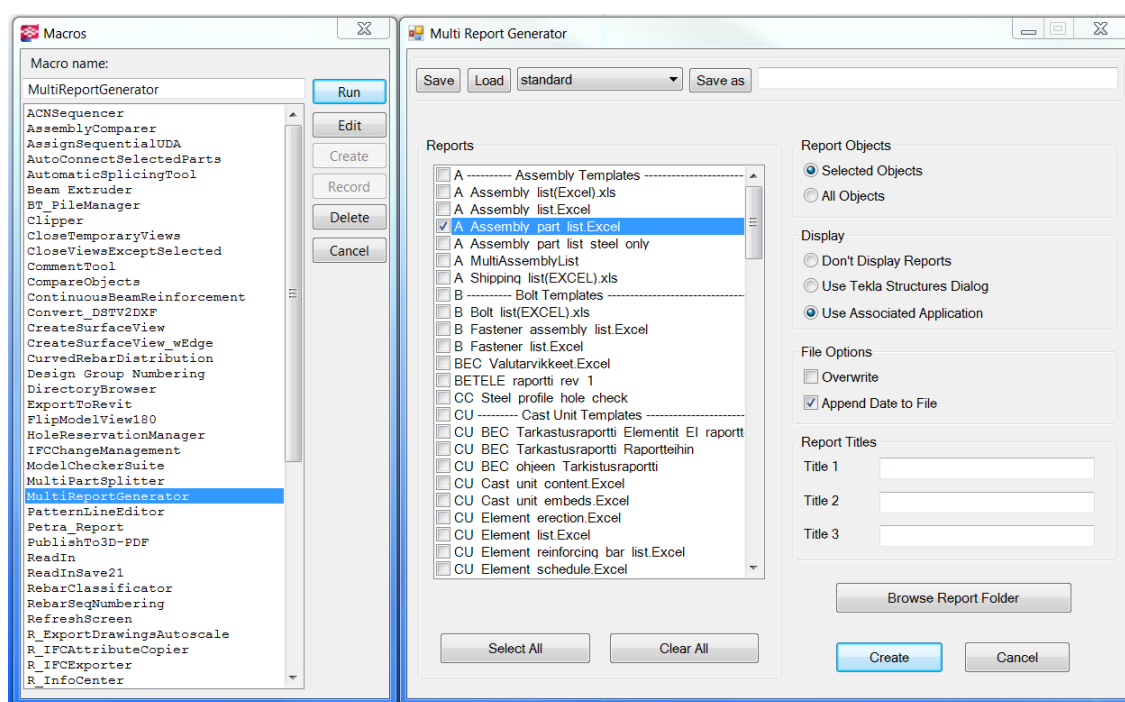
Luettelon näyttäessä hyvältä Organizerissa, se voidaan tulostaa Excel-tiedostoksi valitsemalla oikean reunan oikean yläreunan kolmesta viivasta avautuvasta luettelosta *Export*. Tämän jälkeen tulee valita tulostuspohja, jolla luettelon ulkonäkö luodaan. Tutkimuksessa tulostukseen käytettiin Teklan default-tulostuspohjaa. Toiminto avaa luodun Excel-pohjan automaattisesti, jonka jälkeen luettelo pitää tallentaa haluttuun sijaintiin halutulla nimellä.

Tässä mainitut ohjeet pätevät tutkimuksen tapauksessa betoni- ja liimapuurungoille. Teräsosaluettelo poikkeaa aikaisemmin mainituista ohjeista. Teräsosaluettelo luodaan *Objects in components* -valinnalla (kuva 32). Muuten komponenteilla luodut liittopilarit ja ristikot eivät näy luettelossa. Komponenttien käyttö on selkeästi yksi ongelma määrälaskennan kannalta, vaikka se helpottaa merkittävästi mallinnustyötä. Tutkimuksessa huomattiin myös, että toistaiseksi teräsosaluettelo on järkevintä tehdä vanhalla *MultiReport-Generator* -makrolla ja sieltä *Assembly part list* -luettelopohjalla (kuva 33). Luettelo ryh-

mittelee osat pääkokoonpanoittain listaten alle siihen kuuluvat osat, jolloin erilaiset kokoonpanot ovat helposti eroteltavissa (taulukko 20). Organizerilla tuotettava luettelo antaa vain pitkän listan osia ja esimerkiksi ristikoihin kuuluvia osia on vaikea eritellä luettelosta. Organizer ei toistaiseksi taivu kunnolla tekemään tällaista luetteloa, jossa luettelo ryhmittelee pääkokoonpanon mukaan luetteloiden alle osat. Eri luettelointimenetelmän lisäksi teräsosat ovat ainoat, joissa numerointi pitää tehdä ennen luettelointia. Osat eivät ryhmyty oikein luotuun luetteloon, mikäli numerointia ei tehdä. Vanhalla makrolla tuotettua luetteloa ei voi esikatsella ennen tulostusta, joten sen sisältö on syytä tarkistaa heti tulostuksen jälkeen. Esimerkiksi kokonaispainoa voi verrata Organizerin reaaliaikaisesti antamaan arvoon ja havaita tätä kautta mahdolliset virheet luetteloinnissa.



Kuva 32. Teräsosien valinta-asetukset.



Kuva 33. Teräsosilla käytettävä vanha luettelopohja.

Taulukko 20. Vanhan makron tuottamaa teräsosaluetteloa.

Kokoonpanon tunnus / osan tunnus	Lkm	Kokoonpanon nimi / osan profiili	Materiaali	Pituus [mm]	Paino [kg/kpl]	Paino yht.
B1001	7	PÄÄPALKKI			2851,1	19958,0
P1006	1	IPE600	S355J2	12023	1425,6	1425,6
P1006	1	IPE600	S355J2	12023	1425,6	1425,6
B2001	13	PÄÄTYPALKKI			535,6	6963,2
P2001	1	HEB260	S355J2	6012	535,6	535,6
B3001	1	WQ-PALKKI			800,3	800,3
P3003	1	WQ320*6-20*340-10*610	S355J2	6090	800,3	800,3
TR1001	6	RISTIKKO			3722,8	22336,6
TP1001	1	CFRHS200X200X8.8	S420N	23657	1249,9	1249,9
TP1002	2	CFRHS150X150X6	S355J2H	2087	52,6	105,1
TP1003	2	CFRHS150X150X6	S355J2H	2077	51,8	103,5
TP1004	2	CFRHS120X120X6	S355J2H	2535	52,4	104,7
TP1005	2	CFRHS120X120X6	S355J2H	2375	49,0	98,0
TP1006	2	CFRHS120X120X6	S355J2H	2366	48,5	97,0
TP1007	2	CFRHS120X120X6	S355J2H	2213	45,3	90,5
TP1008	2	CFRHS120X120X6	S355J2H	2202	44,7	89,5
TP1010	2	CFRHS250X250X10	S420N	11848	892,3	1784,6

Tulostetut tiedot kopioidaan rakenneosakohtaiseen Excel-pohjaan, johon kootaan suunnittelun lähtötiedot, tarvittaessa kuormat, malliosien tiedot ja elementtien kokonaismäärät. Kokonaismäärät kannattaa muuttaa suodatettaviksi valitsemalla kaikki luettelon tiedot otsikoineen ja Excelin *Tiedot*-välilehdeltä *Suodata*. Tällöin luetteloa on mahdollista järjestellä haluamallaan perusteella.

Liitteessä 12 on esimerkkinä TT-laattojen määräluettelo kokonaisuudessaan. Ensimmäisellä sivulla näkyy yleistiedot, toisella mallielementtien osaluettelot ja kolmannella osa elementtiluettelosta.

Kustannuslaskijalle toimitettiin yhteensä 17 luetteloa (.xlsx ja .pdf), sekä IFC-tietomalli (.ifc), rakennetyypit (.pdf) ja tietomalliseloste (.pdf). Kuvassa 34 on kansiorakenne, joka toimitettiin pakattuna tiedostona sähköpostitse.

- 📁 1_Betoni (5)
- 📁 2_Liimapuu (4)
- 📁 3_Teräs (3)
- 📁 4_Yleiset (5)
- 📁 5_IFC
- 📁 6_Rakennetyypit
- 📁 7_Tietomalliseloste

Kuva 34. Kustannuslaskijalle toimitettu määrälaskenta-aineisto.

3.5.4 Huomioitavaa määrälaskennasta

Toistaiseksi luetteloiden luontiin liittyy paljon manuaalista työtä, koska kaikkia tarvittavia tietoja ei saada haettua tietomallista ja tietoja varten joudutaan tekemään erilaisia valintoja tietomallissa. Tämä kasvattaa virheiden mahdollisuutta ja luetteloiden päivittäminen on raskaampaa. Määräluettelot tulisi luoda ihan viimeisenä toimenpiteenä suunnittelun ja mallintamisen ollessa valmiita, jotta luetteloiden luontiin käytettävä aika minimoidaan ja päivitystarve on mahdollisimman pientä. Luetteloiden päivittäminen on työlästä, mutta prosessi kokonaisuudessaan on kuitenkin paljon nopeampaa kuin perinteinen määrälaskenta. Luettelointia voidaan jonkin verran nopeuttaa luomalla sopiva tulostuspohja, jossa on valmiina paikat käsin syötettäville tiedoille.

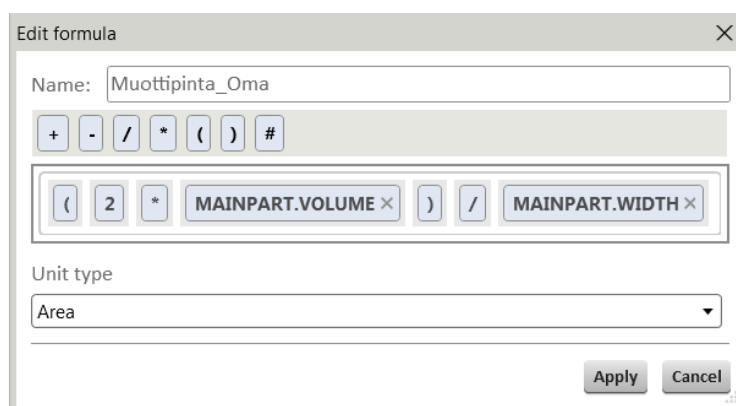
Mallinnettujen osien määrätiedot saadaan yhdistelemällä erilaisten luetteloiden tietoja. Tehokkaan laskennan kannalta on tärkeää luoda luettelot, jotka antavat juuri ne tiedot osista, joita laskentaan tarvitaan. On myös määrätietoja, joita määrälaskenta ei suoranaisesti tarvitse, mutta joita voidaan tarvita esimerkiksi elementtien tarjousten pyytämistä varten. Luetteloiden sisällöstä tulisi sopia jo ennen mallintamisen aloittamista, koska tämä voi vaikuttaa mallinnustarkkuuteen tai -tapaan. Joissain tapauksissa elementtitehdas voi tehdä tarpeeksi tarkan tarjouksen vähemmälläkin tiedoilla, varsinkin sellaisten elementtien kohdalla, joissa tarvikkeet ja varusteet ovat melko vakioituja. Tarkempi tarjous saadaan luonnollisesti tarkemmilla tiedoilla, mutta tarkkuuden lisäys lisää automaattisesti suunnitteluun, mallintamiseen ja luettelointiin käytettävää työmäärää. On tärkeää kysyä osapuolelta, joka määrätietoa hyödyntää, mikä tieto on oleellista tietyissä rakenneosassa. Julkisivussa voi riittää pelkkä neliömäärä, mutta sokkelielementistä tarvitaan kaikki mahdolliset tiedot betonin rasitusluokista pintakäsittelyiden pinta-alaan. Kaiken perustana on pitää työmäärä mahdollisimman vähäisenä, mutta saada kuitenkin laskentaa tyydyttävä lopputulos.

Tutkimuksessa huomattiin, ettei ole yhtä luettelopohjaa, joka toimisi kaikille rakenneosille, joten luotavien luettelopohjien lukumäärä kasvaa helposti suureksi, mitä isommasta kohteesta on kyse. Tämän aiheuttavat esimerkiksi eri mallinnustyökalujen käyttäminen, määrälaskentaan tarvittavien tietojen poikkeavuudet ja valinta-asetusten aiheuttamat tietojen suodattumiset. Eri mallinnustyökaluilla luodut rakenneosat tulostuvat malliin erilaisilla ominaisuuksilla. Esimerkiksi laatalle määritetään asetuksista ainoastaan paksuus, jonka jälkeen muoto määrätään hiiren valinnoilla. Palkilla puolestaan profiili määräytyy asetusten kautta ja pituus hiiren valinnalla. Tästä aiheutuu se, että esimerkiksi korkeus tulkitaan eri tavoin laatalta ja palkilta. Luetteloiden eroavaisuuksia mallinnustyökalujen lisäksi aiheuttavat erilaiset määrälistaustarpeet. Esimerkiksi ontelolaatoille kriittisiä tietoja ovat ontelolaattojen kappalemäärä, profiili, pituus, leveys, vinojen päiden lukumäärät ja aukotukset. Seinissä puolestaan neliömäärä ja pintakäsittelyt ovat tärkeitä tietoja määrälaskennan kannalta. On selvää, että ontelolaattoja ja seiniä ei voi luetteloida samalla luettelolla.

Oikeiden muuttujien löytäminen luettelopohjiin oli ajoittain todella hankalaa. Luettelot kuitenkin luodaan luultavimmin vain kerran ja samoja luettelopohjia käytetään tulevaisuudessa suoraan tai hieman muokaten. Riittää siis, että luettelot luodaan kerran kunnolla kustannuslaskennan näkökulmasta. Oikeiden *propertyjen* löytämisessä auttaa ymmärrys ohjelman logiikasta ja paikat, joista oikeista *propertyistä* voi saada viitteitä. Samalle ominaisuudelle (esimerkiksi korkeudelle) voi löytyä kymmeniä eri muuttujia, joten oikean muuttujan löytäminen voi olla hankalaa tai aikaa vievää, mikäli etsiminen tehdään vain kokeilun kautta.

Luetteloissa hyödynnettiin puuelementtien osalta *Comment*-kenttää, joka löytyy kokoonpanon takaa tuplaklikkaamalla osaa *Assembly*-valinnalla (kuva 20). Tänne syötettiin tässä tapauksessa puukattoelementtien valmistajan mukainen rakenne. Käytännössä kaikki *Assemblyn* taakse kirjattavat *User Defined Attributes* eli *UDA*:t ovat haettavissa luetteloon muuttujan avulla. *Comment*-kenttä oli tässä tapauksessa järkevä paikka sijoittaa tietoa.

Tutkimusta tehdessä huomattiin, että jatkuvina mallinnettavat, moneen suuntaan ulottuvat rakenneosat, esimerkiksi jatkuvat anturat ja jatkuvat seinät ovat hankalia luetteloitavia. Luettelo mittaa tällaisista rakenneosista kokoonpanon äärimittojen mukaiset mitat, eikä huomioi esimerkiksi rakenneosan mutkittelua kyseisen mitan matkalla. Seinien osalta mallinnus kannattaisi aina toteuttaa yhdensuuntaisina linjoina, vaikka työkalu mahdollistaa jatkuvana mallintamisen, koska elementointi tehdään kuitenkin siten, että nurkissa on saumat. Luonnosvaiheessa jatkuvien seinien mallintaminen voi houkutella, jolloin luettelon *propertyjen* oikea toiminta täytyy varmistaa. Jatkuvat anturat sen sijaan olisi aina hyvä pystyä mallintamaan jatkuvina, koska tällöin anturoiden muottipinta vastaa todellisuutta. Tällaisille jatkuville rakenneosille luotiin tutkimuksessa oma *property* pituudelle, kuten kuvassa 26 esitettiin. Muottipinta muodostettiin kuvan 35 mukaisella kaavalla. Jatkuvana mallinnetuille seinille voi luoda saman tyyppisen kaavan esimerkiksi seinäpinta-alaa varten.



Kuva 35. Muottipinnan laskentakaava jatkuvilla anturoilla.

Tavoitteena on tulevaisuudessa luoda luettelopohja, joka luettelo elementistä elementtikuvassa esitettävät tiedot eli pääosan, lisäosat (konsolit, paksunnokset), valutarvikkeet

(pultteineen), raudoitukset, kuormat ja yleistekstit kaikki kerralla. Tällöin säästyttyisiin aikaa vievältä kuvien luonnilta ja numeroinnilta aivan projektin alkuvaiheissa ja aikaa vievältä luetteloiden koonnilta. Elementtien tehokkaampi laadunvarmistus myös helpottuisi tämän avulla. Tutkimuksen aikana luotiin uusi valutarvikeluettelopohja, joka luetteloi valutarvikeluettelon elementtikuvan mukaisesti osien järkevissä yksiköissä pultteja myöten. Tässä ongelmaksi osoittautui se, että luettelossa ei näy muun muassa betoniosat, kuten konsolit ja paksunnokset. Nämä eivät tyypillisesti näy elementtikuvassa valutarvikeluettelossa vaan osaluettelossa ja siksi tämä luettelo ei ollut tarpeeksi kattava.

3.6 Kustannustieto

Määrätietoaineisto toimitettiin kustannuslaskentaa tekeväälle osapuolelle Pohjola Rakennus Oy Hämeeseen, jossa kustannuslaskija jaotteli määrät valitun nimikkeistön eli tässä tapauksessa Talo 80 -nimikkeistön mukaan. Rakennesuunnittelijan tietomallia ei tyypillisesti suunnitella mitään virallista Talo-nimikkeistöä silmällä pitäen, joten nimikkeistön mukainen jaottelu joudutaan tekemään manuaalisesti kustannuslaskentaa varten. Taulukossa 22 on esimerkki jaottelusta, jonka kustannuslaskija tekee taulukon 21 mukaiselle pilarianturan määrätiedolle. Taulukon 21 tiedot ovat suora esimerkki kustannuslaskentaan toimitetusta määrälaskenta-aineistosta (elementtiluettelon rivin tiedot). Luvun 2.3.4 taulukossa 7 on laajempi esimerkki määrätiedon jaottelusta nimikkeistössä.

Taulukko 21. Yksittäisen pilarianturan toimitettu määrälaskentatieto.

Tunnus	PV-A
Sarja	2001
Nimi	PILARIANTURA
Pääosan profiili	1600*1600
Paksuus / mm	600
Leveys 1 / mm	1600
Leveys 2 / mm	1600
Tilavuus / m ³	1.54
Raudoitusarvio kg/m ³	44.81
Raudoitus / kg	69
Muottipinta / m ²	3.84
Betoni	C30/37

Taulukko 22. Kustannuslaskijan taulukko samasta pilarianturasta.

RO	SUO	Selite	Määrä	Yksikköhinta	Yhteensä
2		PERUSTUKSET JA ULKOPUOLISET RAKENTEET			
21		Anturat			
21	1	Anturoiden muottityö	3.84 m ²	x,x €/m ²	X,X €
21	21	Anturoiden raudoitus	69 kg	y,y €/kg	Y,Y €
21	22	Anturoiden betonointi	1.54 m ³	z,z €/m ³	Z,Z €

Kustannuslaskija muodostaa nimikkeistön mukaisen jaottelun kaikista rakennuksen osista ja muista kustannuksista aiheuttavista tekijöistä. Nimikkeistön tarkoituksena on varmistaa laskennan kattavuus ja ryhmitellä kustannuksia.

Kustannustiedon muoto toimii perustana tarvittavalle määrätiedolle. Jos osan hinta on määritetty €/kpl on turha luetteloida osan painoa tai pinta-alaa. Tätä tietoa voidaan tarvita tuotannonsuunnitteluun, mutta kustannuslaskennan kannalta tieto ei ole relevantti. Kustannuslaskija määrittää hinnan työmaalla toteutettaville työtehtäville, hankituille materiaaleille sekä muille yleisille hankekustannuksille. Samalla määrätiedolla voidaan tehdä tuotanto- ja aikataulusuunnittelua, joka voi osaltaan vaikuttaa hankkeen kustannuksiin. Useimmiten hankkeen alustavaa aikataulua ja tuotannonsuunnittelua tehdään kustannusarvion tuottamisen rinnalla.

Tutkimuksen tapauksessa kustannuslaskija sai kaikki kantavaa runkoa koskevat määrätiedot toimitetuista määrälaskenta-aineistoista. Pääosan muista määristä saatiin mittaamalla digitaalisesti tai manuaalisesti arkkitehdin suunnitelmista, ARK-suunnitelmien pohjalta tehtyjen oletusten perusteella tai johtamalla määrälaskennan määristä. Muun muassa irrotuskaistojen juoksumetrit saatiin johdettua tietomallin alapohjan piirin kautta. Monet arkkitehdin aineistosta digitaalisesti mitatuista määristä olisi huomattavasti helpompaa laskea arkkitehdin tietomallista, mikäli sellainen olisi käytettävissä. Kustannuslaskijan mukaan monimutkaisemmissa kohteissa väliseinät ovat tästä hyvä esimerkki, mutta näin yksinkertaisessa kohteessa seinien mittaaminen oli nopeaa myös perinteisillä menetelmillä. Samoin ikkunat ja ovet olisi syytä listata tietomallipohjaisesti eritoten, kun kohde sisältää paljon eri tyyppisiä ja kokoisia ikkunoita ja ovia. Nämä ja muut pintarakenteet löytyvät useimmiten arkkitehdin suunnitelmista tai tietomallista, joten näitä ei ole järkevää sisällyttää rakennesuunnittelijan määrälaskenta-aineistoon. Pintarakenteita voidaan kuitenkin tarvittaessa helposti johtaa rakennesuunnittelijan tietomallista, kuten lat-tian neliömääristä.

Joitakin yleisiä kustannuksia voidaan arvioida suhteessa hankkeen laajuuteen eli ne eivät suoraan ole sidonnaisia yksittäisten rakenneosien määrätietoon. Tämän lisäksi monet kustannukset määräytyvät suoraan urakkatarjousten perusteella. Kustannusarviossa muun muassa maanrakennus, maalaus ja konetekniset työt on määritetty urakkatarjousten kautta. Maanrakennusurakka sisälsi lopulta salaojaputket, joten niiden määrät olivat määrälaskenta-aineistossa merkityksettömät. Routasuojauksen asennus kuului myös maanrakennusurakkaan, mutta materiaalien hankinta kuuluu rakennusurakoitsijalle, joten tähän pystyttiin hyödyntämään toimitettuja määriä.

Kustannuslaskija käyttää kustannustietokantaa tai kustannusosaamistaan määrittäessään eri litteroiden kustannuksia. Kustannustietokanta on usein uniikki juuri kyseiselle toimijalle ja voi ottaa hyvinkin tarkasti huomioon tietyt toimintatavat ja tuotannon tehokkuuden. On olemassa myös yleisiä kustannustietoja sisältäviä kirjallisia teoksia, mutta räätälöidyt kustannustietokannat varmistavat tarkempien kustannusarvioiden tekemisen. Kustannustietokantaa voidaan laajentaa ja tarkentaa hyvän jälkilaskennan ansiosta. Toisaalta varsinaista koostettua kustannustietokantaa ei välttämättä ylläpidetä, vaan kustannusarvi-

oiden tekemiseen käytetään toteutuneiden projektien jälkilaskenta-aineistoa sekä kustannuslaskijan kokemusta ja ammattitaitoa. Ajantasaisen kustannustietokannan pitäminen on erittäin työlästä alati muuttuvien kustannusten myötä.

Elementtirakenteiden kustannukset määräytyvät osittain tuoteosatoimittajien hinnoittelun mukaan, koska nimikkeistö tulkitsee esivalmistettujen tuoteosien kustannukset muodossa €/kpl tai vaihtoehtoisesti urakan kokonaishintana. Näitä hintoja varten kustannuslaskija lähetti määrälaskenta-aineiston tuoteosatoimittajan arvioitavaksi ja sai tarjouksen tietojen perusteella. Tässä työssä valtaosa mallinnettavista rakenteista oli elementtirakenteisia, joten tuoteosavalmistajien hinnoittelu määritteli pitkälti kantavan rungon kustannukset. Rakennusurakoitsijalta voi löytyä jälkilaskennan seurauksena historiatietoa kustannuksista, joiden perusteella elementtirakenteiden hinnoittelua voidaan tehdä, mutta hinnoittelussa tulee ottaa huomioon materiaalien ja työn lisäksi rakentamisajankohdan yleinen hintataso ja tehtaiden työtilanteen aiheuttama hintavaihtelu. Tämä saattaa muuttaa elementtien hintaa radikaalisti tai jopa viivästyttää hanketta, mikäli elementtitehtaiden tilauskantaa on arvioitu väärin. Jokainen ennakkotarjoukseen laitettu kokonaisuus hinnoitellaan myös kustannuslaskijan toimesta. Saatuja tarjouksia verrataan kustannuslaskijan omaan arvioon ja tämän perusteella muodostetaan lopullinen kustannusarvio. Etenkin tässä markkinatilanteessa ennakkotarjousten hajonta voi olla hyvin laaja ja laskijan on aina kyettävä arvioimaan, pystytäänkö joku kokonaisuus toteuttaa edullisemmin kuin saatu tarjous.

Betonituotetoimittajat olivat tyytyväisiä toimitetun aineiston tarkkuuteen ja antoivat mielellään kokonaistarjouksen näiden perusteella. Tietomalli toimi hyvänä tukena taulukkopohjaiselle aineistolle. Tehtaalta saatiin muutamia hyviä pointteja kustannustehokkaampaan suunnitteluun. Tehtaalla elementtien kustannuksiin merkittävästi vaikuttavat muun muassa elementtivalmistuksen sarjapituudet eli elementtien toistuvuus, käännettävien seinäelementtien määrä ja elementtien koko. Elementtien koko voi vaikuttaa todella voimakkaasti rahtikustannuksiin, mikäli tehokkaita kuormia ei saada muodostettua. Valutarvikkeiden sijainti suhteessa valupintaan ja poikkileikkauksen ahtaus ovat myös seikkoja, jotka voivat kasvattaa kustannuksia työteknisistä syistä. Ymmärrettävästi esimerkiksi kiinnityslevyn asettaminen muotin pohjalle on helpompaa kuin valun yläpintaan. Raudoitusten asentaminen on puolestaan helpompaa hieman väljempään profiiliin kuin aivan tiukoilleen mitoitettuun poikkileikkaukseen. Poikkileikkauksen kasvattaminen ei välttämättä kasvata kustannuksia merkittävästi tästä syystä. Yleisesti tehdas pystyy antamaan sitä tarkemman tarjouksen, mitä enemmän tietoa tilattavista elementeistä toimitetaan. Tehdas pystyy tekemään hinta-arvion todella niukoillakin lähtötiedoilla, mutta tällöin arvioon sisältyy epävarmuuden aiheuttamaa kustannuslisää ja tehtaan tekemiä oletuksia esimerkiksi raudoituksiin ja valutarvikkeisiin. Jos tarkemman tiedon tuottaminen on helppoa ja nopeaa esimerkiksi mallinnuskomponenttien avulla, tehtaan näkökulmasta se kannattaa tehdä. Seinäelementit ja erityisesti sandwich-elementit ovat tuoteosatoimittajien kannalta kaikista haastavimpia tarjouslaskennassa. Näiden luetteloissa on eniten kehitysvaraa.

Liimapuuelementtivalmistajalta saatiin elementtien paksuuteen ja tilavuuteen perustuva hinnoittelu sekä kustannuslaskijan oma hinnoittelu, jonka perusteella pilareiden ja palkkien kustannukset laskettiin. Hyvänä huomiona tulevaan suunnitteluun tuli se, että vakioleveydeksi lasketaan alle 265 mm leveät profiilit, jolloin hinta on valmistusteknisistä syistä huokeampi. Leveyden kasvaessa yli 265 mm valmistuksen takia hinta (€/m³) kasvaa merkittävästi verrattuna vakioleveyksiin. Joillain tehtailla voi myös olla pituusrajoitteita valmistuksessa ja pituus vaikuttaa myös voimakkaasti rahtikustannuksiin. Puukattoja välipohjaelementteihin ei saatu tarjousta suoraan tuoteosatoimittajalta, joten niiden kustannukset arvioitiin kustannuslaskijan toimesta riittävällä tarkkuudella.

Työssä mitoitetulle teräsrungolle ei laskettu lopullista hintaa. Työn herättämästä mielenkiinnosta teräsrunkotoimittaja mitoitti teräshallin rakenteet erilaisella pääkehällä ja jäykistysjärjestelmällä. Teräsrunkotoimittajan vaihtoehtoisessa runkoratkaisussa pääkehä muodostuu kahdesta 30 metrin pituisesta teräsristikosta ja jäykistys on toteutettu vinojäykisteiden avulla. Tämä muuttaa pilareiden sijainteja sekä lukumäärää ja saattaa aiheuttaa rajoituksia aukotusten suhteen. Runkoratkaisu voi aiheuttaa myös muutoksia esimerkiksi katon muodolle tai rakennuksen käytettävyydelle. Rungon paino on merkittävästi pienempi kuin vertailussa saatu, joka osoittaa hyvin sen, että rungon sijoittelua ja jäykistystä muuttamalla voidaan saavuttaa suuria kustannussäästöjä. Kustannuslaskennan osalta tarjouksen saaminen työstä poikkeavalle rungolle on kuitenkin haastavaa. Anturoiden lukumäärä on pienempi kuin työn mitoituksessa, mutta vastaavasti kuormat keskittyvät voimakkaammin yksittäisille perustuksille, joka kasvattaa perustusten kokoa. Perustuksia ei suunniteltu uudestaan kyseistä runkoa varten, mutta niiden voidaan olettaa olevan samaa luokkaa. Liittopilareiden betonitäytöt laskettiin myös alkuperäisen aineiston mukaan. Kyseiset ristiriidat tulee ottaa huomioon kustannuksia vertaillessa eli teräsrungon kustannuksiin kannattaa suhtautua varauksella.

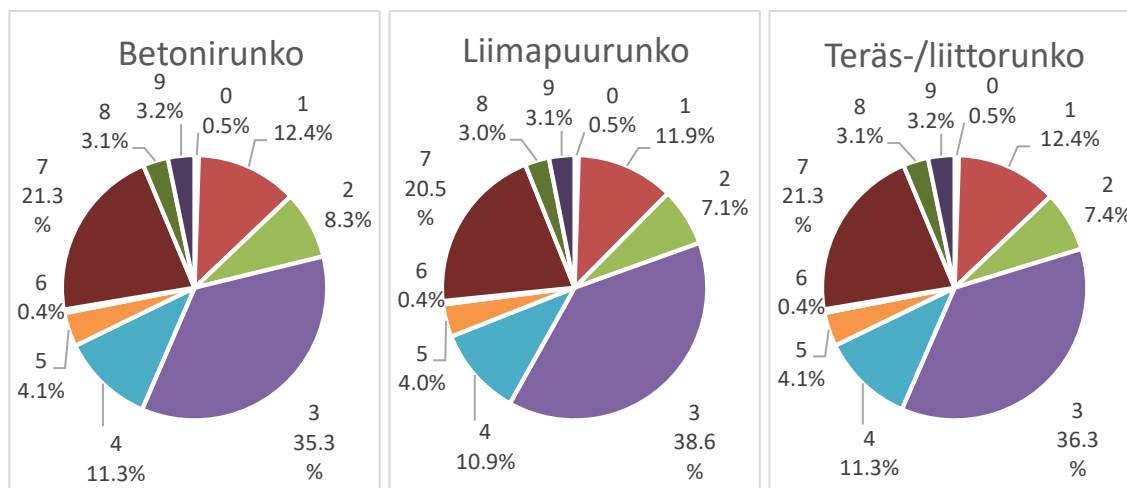
3.7 Kustannuslaskenta

Rakennusurakoitsija toimitti kustannuslaskenta-aineiston taulukkomuodossa ja tuloksia tutkitaan työssä prosenttiosuuksina. Kustannuslaskija jaotteli kustannukset rakennusosanimikkeistön (RO) pääryhmittäin. Kustannuksia on usein tarpeen ryhmitellä eri tavoin, jotta eri vaihtoehtojen vertailu on helpompaa ja eroavaisuudet ovat helpommin paikannettavissa. Kustannuslaskennassa käytetyn rakennusosanimikkeistön pääryhmät ovat

0. Rakennuttajan kustannukset
 1. Maa- ja pohjarakennus
 2. Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet
 3. Runko- ja vesikattorakenteet
 4. Täydentävät rakenteet
 5. Pintarakenteet
 6. Kalusteet, varusteet ja laitteet
 7. Konetekniset työt

8. Työmaan käyttökustannukset
9. Työmaan yhteiskustannukset.

Jokaista pääryhmää on pilkottu laskennassa pienempiin osiin, mutta tutkimuksessa keskitytään tarkemmin vain kantavan rungon aiheuttamiin kustannuseroihin. Kustannuserot muodostuvat laskelmien mukaan juuri pääryhmissä 2 ja 3. Kuvassa 36 on esitetty kustannusten jakautuminen eri pääryhmiin runkovaihtoehtojain.

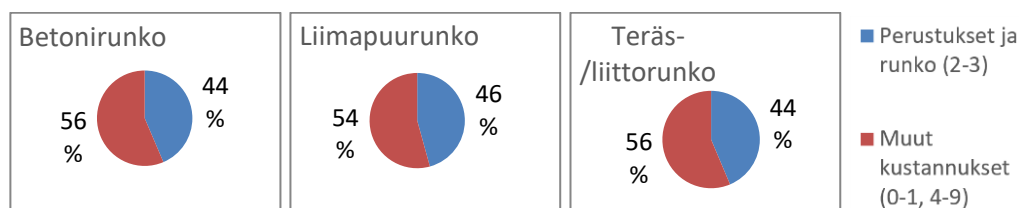


Kuva 36. Kustannusten jakautuminen pääryhmittäin.

Suurimmat kustannukset muodostuvat runko- ja vesikattorakenteista (pääryhmä 3). Toiseksi eniten kustannuksia aiheuttavat konetekniset työt (pääryhmä 7). Laskentaan ei sisällytetty suunnittelun kustannuksia. Seuraavaksi erotellaan tarkemmin rakennuksen kustannuksia rungon ja muiden kustannusten osalta.

3.7.1 Rungon kustannukset

Rungon osuus (pääryhmät 2 *Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet* ja 3 *Runko- ja vesikattorakenteet*) kokonaiskustannuksista runkotyypeittäin on esitetty kuvassa 37. Huomataan, että kaikissa runkovaihtoehtojain pääryhmien 2 ja 3 osuus kokonaiskustannuksista on lähes sama (44 – 46 %).



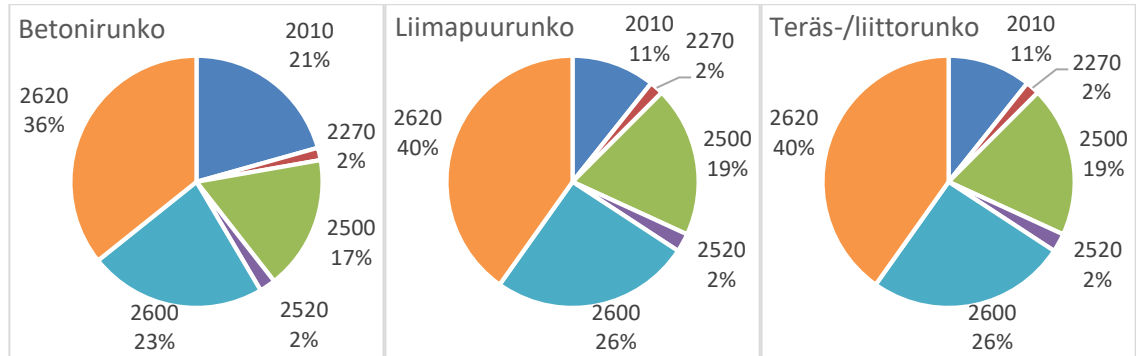
Kuva 37. Rungon ja muiden kustannusten jakautuminen eri runkovaihtoehtojain.

Pääryhmä 2 *Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet* sisältää litterat

- 2010 Perustusurakka

- 2270 Perustusten routa- ja lämmöneristeet
- 2500 Väestönsuojarakenteet
- 2520 VSS Lattiatyöurakan
- 2600 Maanvarainen laatta
- 2620 Maanvarainen laatta betoni

Kuvassa 38 on esitetty kustannusten jakautuminen litteroittain pääryhmässä 2 kullakin runkovaihtoehdolla.

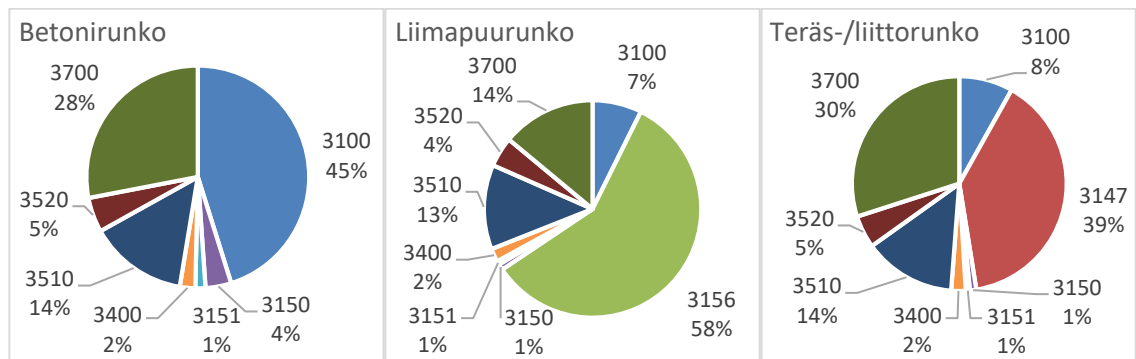


Kuva 38. Kustannusten jakautuminen pääryhmän 2 sisällä.

Pääryhmä 3 Runko- ja vesikattorakenteet sisältää litterat

- 3100 Betonielementit
- 3156 Puurunkotyöt (vain puurunko) / 3147 Teräsrunkotyöt (vain teräsrunko)
- 3150 Elementtiasennus
- 3151 Elementtien juotos
- 3400 Portaat
- 3510 Ulkoseinät materiaali
- 3520 Ulkoseinät asennus
- 3700 Ullakko- ja kattorakenteet

Kuvassa 39 on esitetty kustannusten jakautuminen litteroittain pääryhmässä 3.



Kuva 39. Kustannusten jakautuminen pääryhmän 3 sisällä.

Kustannuspoikkeamia runkovaihtoehtojen välillä aiheuttivat pääryhmissä 2 ja 3 tarkemmin litterat

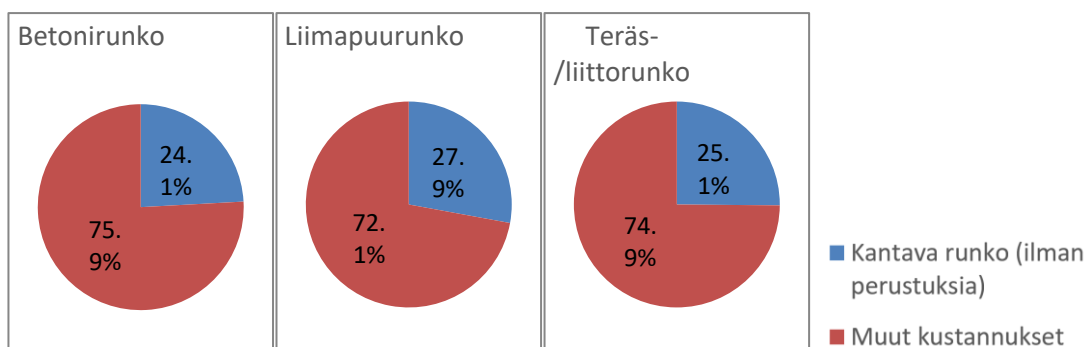
- 2010 Perustusurakka
- 3100 Betonielementit
- 3156 Puurunkotyöt (vain puurunko)
- 3147 Teräsrunkotyöt (vain teräsrunko)
- 3150 Elementtiasennus
- 3151 Elementtien juotos
- 3700 Ullakko- ja kattorakenteet

Nämä ovat luonnollisesti juuri ne runkovaihtoehtoissa toisistaan poikkeavat rakenteet. Betonirungossa 3100 Betonielementit, 3150 Elementtiasennus ja 3151 Elementtien juotos sisältävät runkorakenteiden lisäksi myös sokkelielementit. Runkoelementtien kustannukset saatiin eroteltua vähentämällä sokkeleiden kustannukset, jotka ilmenivät toisten runkovaihtoehtoista kyseisistä litteroista. Liimapuu- ja teräsrungoilla rungon kustannukset (3147 Teräsrunkotyöt ja 3156 Puurunkotyöt) sisältävät myös asennuksen, joten litterat 3150 Elementtiasennus ja 3151 Elementtien juotos sisältävät näiden runkojen tapauksissa ainoastaan sokkelielementtien asennuksen. Taulukossa 23 on esitetty eroavaisuuksia sisältävien litteroiden erot liimapuu- ja teräsrungoissa verrattuna betonirunkoon. *Rungon elementit ja asennus* on betonirakenteissa muokattu koskemaan ainoastaan rungon elementtejä ja asennusta, jolloin se on suoraan vertailtavissa teräs- ja liimapuurunkojen hintoihin.

Taulukko 23. Kustannuserot suhteessa betonirunkoon.

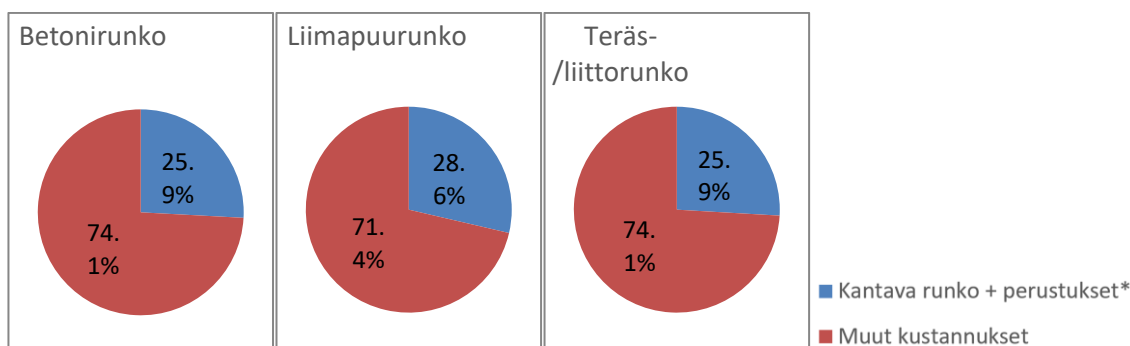
2	PERUSTUKSET JA ULKOPUOLISET RAKENTEET	TERÄS/LIITTO	LIIMAPUU
2010	Perustusurakka	-53,8%	-53,8%
	Koko pääryhmä 2 yhteensä	-11,1%	-11,1%
3	RUNKO- JA VESIKATTORAKENTEET	TERÄS/LIITTO	LIIMAPUU
	Rungon elementit ja asennus (+juotos betonissa)	0,2%	64,0%
3700	Ullakko- ja kattorakenteet	10,0%	-43,3%
	Koko pääryhmä 3 yhteensä	2,9%	13,7%
	Pääryhmät 2 ja 3 kokonaisuudessaan yhteensä	0,24 %	9,0 %
	Pääryhmät 2 ja 3 muuttuvilta osin yhteensä	0,4%	15,1%

Pelkän rungon (eli kantavat rakenteet ja vesikatto, ei julkisivurakenteita) kustannukset ilman mitään perustuksia olivat betonirungolla 24,1 prosenttia, teräsrungolla 25,1 prosenttia ja liimapuurungolla 27,9 prosenttia kaikista hankkeen kustannuksista (kuva 40). Kantava runko halutaan erotella tässä tällä tavalla, koska vaikka väestönsuoja (VSS), porraskäytävä ja julkisivu ovat oleellinen osa runkoa, eroa haetaan juuri kantavaan runkoon.



Kuva 40. Kantavan rungon osuus kaikista kustannuksista ilman perustuksia.

Perustusten kanssa kantavan rungon osuus kaikista kustannuksista oli betonirungolla ja teräsrungolla 25,9 prosenttia ja liimapuurungolla 28,6 prosenttia (kuva 41). Tässä tulee huomioida, että laskelman perustusrakka sisältää kantavan rungon lisäksi myös porrashuoneen, väestönsuojan, muurirakenteiden ja sandwich-sokkeleiden perustukset. Näistä on vaikea erotella vain pilarianturoiden kustannuksista ilman tarkempien laskentojen tarkastelua.



Kuva 41. Kantavan rungon osuus kaikista kustannuksista perustuksien kanssa (*myös portaiden, VSS:n, muurien ja sandwich-sokkeleiden perustukset).

3.7.2 Rakennuksen muut kustannukset

Rakennuksen muihin kustannuksiin lukeutuu työn tapauksessa karkeasti pääryhmät 0-1 ja 4-9. Edellisessä luvussa todettiin, että muiden kustannusten osuus koko hankkeen kustannuksista vaihteli 54 prosentista 56 prosenttiin. Kaikkiin runkovaihtoehtoihin muut kustannukset olivat arvioitu samoiksi, kuten taulukosta 24 voidaan havaita. Taulukossa 24 on esitetty teräs- ja liimapuurunkojen kustannusten ero verrattuna betonirunkoon pääryhmittäin.

Taulukko 24. Teräs-/liittorungon ja liimapuurungon kustannukset verrattuna betonirunkoon.

PÄÄRYHMÄ	TERÄS/LIITTO	LIIMAPUU
0 Rakennuttajan kustannukset	0 %	0 %
1 Maa- ja pohjarakennus	0 %	0 %
2 Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet	-11 %	-11 %
3 Runko- ja vesikattorakenteet	3 %	14 %
4 Täydentävät rakenteet	0 %	0 %
5 Pintarakenteet	0 %	0 %
6 Kalusteet, varusteet ja laitteet	0 %	0 %
7 Konetekniset työt	0 %	0 %
8 Työmaan käyttökustannukset	0 %	0 %
9 Työmaan yhteiskustannukset	0 %	0 %
0-9 YHTEENSÄ	0,1%	3,9%

3.8 Tulokset

Taulukossa 25 on esitetty kootusti alimmat ja ylimmät ratkaisut kustannuslähteittäin. Jokaisessa runkoratkaisussa on jokin kustannus, joka on joko edullisin tai kallein. Yksi runkokokonaisuus ei ole siis sellaisenaan optimaalisin.

Taulukko 25. Edullisin ja kallein ratkaisu kustannuslähteittäin.

Kustannukset	Alin hinta	Ylin hinta
Runko	Betoni/Teräs	Liimapuu
Perustukset	Teräs/Liimapuu	Betoni
Vesikatto	Liimapuu	Teräs
Kokonaiskustannukset	Betoni/Teräs	Liimapuu

Betonirunko oli hankkeen kokonaiskustannuksiltaan edullisin runkoratkaisu, mutta käytännössä tasoissa teräsrungon kanssa 0,1 prosentin erolla. Liimapuurunko oli kokonaiskustannuksiltaan 3,9 prosenttia betonirunkoa kalliimpi. Pelkkää runkoa ilman perustuksia tarkastellessa betonirunko oli myös edullisin, mutta todella tasoissa teräsrungon kanssa 0,2 prosentin erolla. Liimapuurunko oli tässäkin tapauksessa kallein runkovaihtoehto 64 prosentin erolla verrattuna betonirunkoon. Perustuksiltaan puu- ja teräsrunko olivat 53,8 prosenttia edullisempia kuin betonirunko. Liimapuurungon runko- ja vesikattorakenteet (pääryhmä 3) olivat 14 prosenttia betonirunkoa kalliimpia verrattuna muihin runkoratkaisuihin, mutta kokonaiskustannusten eroa pienensi merkittävästi edullisempi vesikattoratkaisu ja pienemmät perustukset. Kallein vesikattoratkaisu oli teräsrungossa.

3.9 Pohdinnat ja johtopäätökset

Tutkimuksen pääasiana ei ollut määrittää tarkkoja kustannuksia hallirakennukselle, vaan tutkia käytännössä, kuinka luonnosvaiheen tietomallipohjainen kustannuslaskentaprosessi voisi edetä. Prosessi tuo rakennesuunnittelijalle paljon uusia näkökulmia melko tuntemattomaan kustannuslaskentaan.

Seuraavaksi pohditaan tarkemmin kustannuksia ja itse määrälaskentaprosessia.

3.9.1 Kustannukset

Kokonaiskustannuksiltaan edullisin rakennus syntyi betonirungolla. Betoni on materiaalina suhteellisen halpa ja tavanomainen rakennusmateriaali. Betonirungossa yhdistyi vahva esivalmistuksen aste ja vähäisempi työmaalla tehtävä työmäärä, mutta merkittävästä omasta painosta aiheutuvat suuremmat perustukset. Betonirungon kanssa tasoihin teräsrungon toivat selkeästi edullisemmat perustukset, mutta vastapainona kalliimpi vesikattorakenne. Teräs- ja liimapuurungon perustukset olivat 53,8 prosenttia betonirunkoa edullisemmat. Tätä suurta eroa voidaan selittää betonirungon suurella massalla. Teräs- ja liimapuurungon paino on selkeästi pienempi kuin betonirungon, jolloin perustukset saadaan mitoitetua pienemmiksi.

Edullisin vesikattorakenne oli liimapuurungossa 43,3 prosentin erolla betonirunkoon. Tämä johtuu siitä, että vesikaton työmaalla tehtävät työvaiheet jäävät puukattoelementtien ansiosta vähäisiksi. Puukattoelementtien hinta voi olla myös vielä alhaisempi kysytessä tuoteosatoimittajalta. Teräsrungon vesikaton suuria kustannuksia voidaan selittää työmaateknisillä seikoilla, koska tiiviin vesikattorakenteen tekeminen kantavan poimulevyn päälle vaatii useita työmaalla tehtäviä työvaiheita.

Edullisin kokonaisvaltainen runkoratkaisu voisi olla teräsrungon ja puurungon yhdistelmä. Liittopilareiden ja teräsristikoiden yhdistelmä puukattoelementtien kanssa pitävät kuormat suhteellisen alhaisina, jolloin perustukset pysyvät maltillisen kokoisina. Puukattoelementtien käyttö puolestaan saattaa rakennuksen vesitiiviiksi nopeasti ja vähäisellä työllä, joka voi aikaansaada isoja aikataulu- ja kustannussäästöjä. Teräsrungon ja puukattoelementtien yhdistelmä on melko tyyppillinen runkoratkaisu esimerkiksi jäähalleissa. Työn tapauksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon se, että paloluokan muutos voisi ohjata suunnittelua vahvasti eri suuntaan.

Virheitä kustannuslaskentaan voi aiheuttaa, mikä tahansa edeltävä prosessin vaihe. Luonnollisesti varhaisemmissa vaiheissa tehty virhe kertaantuu lopputulokseen. Kaikkia prosessin aikana syntyviä virheitä tulisi hallita säännöllisellä ja johdonmukaisella laadunvarmistuksella ja tarkastuksella. Tässä tutkimuksessa virhettä kustannusarvioihin aiheuttaa se, että prosessia testattiin ensimmäistä kertaa ja iterointi prosessin aikana jäi vähäiseksi

aikatauluhaasteiden takia. Seuraavissa laskennoissa voidaan oppia edellisessä tehdyistä virheistä ja viilata prosessia entisestään.

Kustannusarvion on tärkeää kattaa koko rakennus, koska yksittäistenkin laskentarivien puuttuminen voi aiheuttaa kustannusarvioon suuria virheitä ja täten huonontaa hankkeen kannattavuutta. Tyypillisesti luonnosvaiheessa kustannuslaskija joutuu arvioimaan rakennuksen kantavia rakenteita perustuen aikaisempiin hankkeisiin sekä laskijan kokeemukseen ja ammattitaitoon, mutta rakennesuunnittelijalla olisi valistuneempaa tietoa kyseisistä suunnitteluseikoista. Tällöin rakennesuunnittelijan tuottamiin rakenteisiin liitettyä määrätietoa voidaan pitää arvokkaampana ja totuudenmukaisempana. Kaikki todellisiin määriin sidotut kustannukset ovat luotettavia, koska muutoksia voi aiheuttaa lähinnä määrien muutokset.

Rakentamisen kustannukset ovat monimuotoisuudessaan hankalasti arvioitavia ja jokainen ennen jälkilaskentaa tehty kustannuslaskenta on vain arvaus. Kustannusarvion tarkkuus luonnollisesti kasvaa tietojen lisääntyessä, mutta tarkat kustannukset ovat tiedossa vasta rakentamisen jälkeen. Jälkilaskennasta saadaan tärkeää tietoa laskentakohteista ja niihin liittyvistä ongelmista ja virheistä. Jokainen hanke opettaa ottamaan laajemmin asioita huomioon ja ennakoimaan syntyviä ongelmia. Ylioptimistinen arvio johtaa todennäköisimmin epäonnistumiseen ja hankaliin tilanteisiin.

Jälkilaskennan avulla rakennuksen karkeisiin ominaisuuksiin linkittyvien tunnuslukujen luominen olisi houkuttelevaa. Luotettavien tunnuslukujen hakeminen voi kuitenkin olla haasteellista, koska kustannuksiin vaikuttaa lukematon määrä asioita. Rakennusalan suhdanteet muuttavat elementtitehtaiden työtilannetta ja materiaalikustannukset voivat muuttua saatavuudesta riippuen voimakkaasti. Rakennukseen toteutettava viimeistelyjen laatu vaikuttaa rakennuksen kustannuksiin todella paljon, joka osaltaan vaikeuttaa tunnuslukujen luomista. Täysin identtisiä kohteita voidaan verrata toisiinsa tunnuslukujen avulla, mutta tällainen tilanne on harvemmin kyseessä. Jokainen rakennus on tyypillisesti ainutlaatuinen ja vähintään rakennusajankohta voi muuttaa aiheutuvia kustannuksia.

3.9.2 Määrälaskentaprosessi

Tärkeimmät huomiot prosessiin on esitetty jokaisen aliprosessin lopussa.

Prosessin tehokkuuden kannalta olisi hyvä, että rakennesuunnittelijalle toimitetaan määrälaskentaohje, joka sisältää kustakin rakenneosasta tarvittavat määrätiedot. Tämä saattaa vaikuttaa mallinnustapaan tai mallinnustarkkuuteen ja erityisesti tietojen luettelointiin. Suunnittelijoiden tietämys käytössä olevista nimikkeistöistä on melko vähäistä ja vanhemman Talo 80 -nimikkeistön määrälaskentaohje löytyy ainoastaan kirjamuodossa.

Laskentaprosessi oli looginen, mutta sekä suunnittelun, mallinnuksen, luettelopohjien luomisen ja määrälaskenta-aineiston tuottamisen prosessit ovat tehostettavissa jatkokehityksellä. Luettelopohjien luonnin suhteen suurin työ kohteeseen liittyvistä rakenneosista on tehty, mutta pohjia voi joutua kehittämään pidemmälle ja luomaan uusia luettelopohjia, joita kyseinen hanke ei kattanut. Luetteloiden kehittäminen paremmin nimenomaan kustannuslaskennan määrälaskentaan soveltuvaksi vaatii testausta ja palautteenantoa laskentaa tekeviltä osapuolilta.

Kustannuslaskijan mukaan voisi olla paljonkin muita rakenteita, joita olisi järkevämpää laskea tietomallipohjaisesti kuin perinteisillä menetelmillä. Esimerkiksi sandwich-paneelien saumat ja sahaukset ovat hankalasti laskettavissa julkisivukuvista ja hinnoitellaan useimmiten €/m. Tähän voitaisiin kehittää nimenomaan määrälaskentaa varten työkalu, joka helpottaisi laskentaa merkittävästi. Määrälaskentavetoisen mallintamisen tueksi voitaisiin kehittää omia mallinnustyökaluja, sekä tutkia algoritmipohjaisen suunnittelun soveltamista luonnosvaiheen tietomallipohjaiseen määrälaskentaan. Määrä- ja kustannuslaskennan ollessa mallintavalle osapuolelle vierasta, voi tietomallin täysi potentiaali jäädä hyödyntämättä.

4. PROSESSI

Prosessikaaviot (8 kpl) on esitetty liitteessä 12.

Prosessikaaviot luotiin case-tapauksen pohjalta. Prosessikaavio pyrittiin luomaan yleispäteväksi, mutta huomioiden tarkemmin case-tapauksessa hyväksi todettuja menetelmiä.

5. YHTEENVETO

5.1 Loppupäätelmät

Tutkimuksen perusteella tietomallipohjaisella määrälaskennalla voidaan merkittävästi nopeuttaa laskentaprosessia rakennusosa-arviossa ja siihen riittää hyvin tietomallinnusohjelman olemassa olevat työkalut yhdistettynä taulukkopohjaiseen laskentaan. Hyödyntämällä suoraan tietomallia, ei hukata aikaa tai tietoa suunnitelmadokumentteja tuottaessa. Määrälaskenta-aineisto (luettelot, rakennetyypit, tietomalliselostus, IFC-malli) oli tarpeeksi kattava kustannusarvion tuottamiseen kantavan rungon osalta.

Työn tapauksessa hallirakennuksen rungon kustannukset (kantava runko ja yläpohja ilman julkisivua) olivat noin 25 prosenttia hankkeen kokonaiskustannuksista. Pääryhmien 2 ja 3 osalta oleellisimmin kustannuksiin vaikuttaa itse runkorakenteet ja perustusten kustannusvaikutus jää hallirakennuksen tapauksessa lopulta melko pieneksi. Kun laskentaan otetaan mukaan kaikki pääryhmien 2 ja 3 rakennusosat, on prosenttiosuus noin 45 prosenttia kaikista kustannuksista. Yksittäisten rakenneosien kustannuksia ei kustannuslaskenta-aineistosta saada eriteltyä, joten tarkempaa kustannusjakaumaa rakennusosittain ei voitu esittää. Rungon kustannukset ovat kuitenkin kokonaisuudessaan merkittävä osa hallirakennuksen kustannuksista, joten niiden suunnitteluun kannattaa panostaa varhaisissa suunnitteluvaiheissa. Viimeistelyjen laadulla voi olla merkittäviä kustannusvaikutuksia, vaikka tässä tutkimustapauksessa laadun vaikutuksia ei tutkittu. Tätä olisi hyvä tutkia tarkemmin tulevaisuudessa. Mahdollisten suunnittelu- ja arviointivirheiden paikantamista ei pystytty työssä lopulta tekemään kunnolla, koska tämä vaatisi jälkilaskenta-aineiston vertailua prosessilla tehtyyn laskentaan.

Tietomallipohjaisen määrälaskennan merkittävimpiä haasteita ovat sopivien luettelopohjien luominen ja tehokkaampi määrälaskenta-aineiston koostaminen. Oikean suunnittelu- ja mallinnustarkkuuden löytäminen on hankekohtaista ja vaativat myös prosessin testaamista oikeissa projekteissa. Työtä varten luotuja luettelopohjia voidaan kehittää edelleen vastaamaan kunkin hankkeen tarpeita ja hyödyntää jossain määrin myös muiden hankevaiheiden kustannusarvioinnissa.

Kustannustehokkaampia suunnitteluratkaisuja tulisi hakea aktiivisemmin suunnittelijoiden, urakoitsijoiden ja tuoteosavalmistajien tiiviimmällä yhteistyöllä. Suunnittelijoiden kustannustietämystä olisi syytä parantaa, jotta saadaan nopeammin kaikkia osapuolia palvelevia ratkaisuja. Tuoteosavalmistajien puolelta olisi tärkeää tietää luotettavan tarjouksen tuottamiseen tarvittavat tiedot ja huomioita kustannuksiin vaikuttavista työteknisistä seikoista.

Tutkimuksen perusteella tietomallit ovat hyvä työkalu kustannuslaskennan merkittävään nopeuttamiseen, havainnollistamiseen ja toistettavuuden parantamiseen. Kehitystyötä kaivataan edelleen määrittämään määrälaskennan tarkemmat tarpeet sekä luettelopohjien tehokkaampaan käyttöön. Tietomallipohjaisen kustannuslaskennan ja rakennusosa-arvion soveltuminen nimenomaan luonnosvaiheeseen riippuu vahvasti hankkeen luonteesta. Tietomallipohjainen kustannuslaskenta luonnosvaiheessa soveltuu erityisesti tapauksiin, jossa vertaillaan erilaisia suunnitteluratkaisuja. Rakennesuunnittelijan toteuttamana prosessi on järkevä, kun vertaillaan nimenomaan kantavan rungon vaihtoehtoja. Määriin sidottu kustannusarvio on todella arvokas hankkeen kannattavuuden arvioinnissa.

5.2 Keskustelu

Tutkimusta oli omalla tavallaan haastavaa lähteä tekemään, kun taustalta löytyi melko vastaavanlaisen työn tuottaminen kandidaatintyönä. Tiedon syventymistä on tapahtunut edellisen työn suorittamisen jälkeen, mutta edelleen on paljon tutkittavaa aiheeseen liittyen. Rakennusalan ollessa kiireinen, työn valvominen, tarkastus ja iterointi jäivät melko vähälle.

Jälkeenpäin ajateltuna olisi ollut ehdottomasti parempi valita käytännön tutkimuksen kohteeksi yksinkertaisempi rakenne, jotta työn pääpaino olisi pysynyt alustavan rakennesuunnittelun sijaan mallintamisessa ja määrä- ja kustannuslaskennassa. Prosessin testaaminen jo toteutuneessa hankkeessa olisi ollut mielenkiintoinen mahdollisuus verrata arvioituja ja toteutuneita kustannuksia keskenään vireiden paikannuksessa. Prosessia voidaan toivottavasti kehittää edelleen oikeiden projektien parissa.

5.3 Jatkotutkimusmahdollisuuksia

Jatkotutkimusta voisi tehdä esimerkiksi etsimällä vastauksia seuraaviin kysymyksiin ja aiheisiin:

- Miten oikeanlaisia määräluetteloita nimikkeistön mukaisilla litteroilla voitaisiin tuottaa suoraan tietomallista?
- Mitä asioita kannattaisi laskea tietomallin kautta, joita ei vielä lasketa?
- Määrä- ja kustannuslaskennan sisäänrakentaminen tietomalliohjelmistoon
- Rakennesuunnittelun kustannustietouden kehittäminen
- Kustannustiedon kehittäminen tietomallipohjaisen kustannuslaskentaprosessin nopeuttamiseksi (kustannustiedon muuttaminen suoraan tietomallista saatavien yksiköiden mukaisiksi)
- Algoritmiavusteisen suunnittelun hyödyntäminen luonnosvaiheen mallintamisessa ja määrälaskennassa

LÄHTEET

Bazjanac, V. (2005). Model based cost and energy performance estimation during schematic design, 12 s., Saatavissa (viitattu 01.09.2017): http://itc.scix.net/cgi-bin/works/Show?_id=w78-2005-a11-3-bazjanac&sort=DEFAULT&search=Bazjanac&hits=8.

BEC2012-hanke (2014). Elementtisuunnittelun mallinnusohje, Rakennusteollisuus RT, 41 s., Saatavissa: (viitattu: 27.09.2017): http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23982/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje_v104.pdf

Betoniteollisuus Ry , Mallintava suunnittelu, WWW, Saatavissa (viitattu 12.09.2017): <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/suunnitteluprosessi/mallintava-suunnittelu>

Betoniteollisuus ry , Tekla Structures -muuttujat, WWW, Saatavissa (viitattu 20.09.2017): http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/24110/Liite1_TeklaMuuttujat.pdf

BuildingSMART Finland (2012a). Yleiset tietomallivaatimukset 2012: Osa 1: Yleinen osuus, Senaatti-kiinteistöt, 21 s., Saatavissa: (viitattu: 30.8.2017): http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_1_yleinen_osuus.pdf

BuildingSMART Finland (2012b). Yleiset tietomallivaatimukset 2012: Osa 5: Rakennesuunnittelu, Senaatti-kiinteistöt, 28 s., Saatavissa: (viitattu: 30.08.2017): http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_5_rak.pdf

BuildingSMART Finland (2012c). Yleiset tietomallivaatimukset 2012: Osa 7: Määrälas-kenta, Senaatti-kiinteistöt, 24 s., Saatavissa: (viitattu: 30.8.2017): http://files.kotisivukone.com/buildingsmart.kotisivukone.com/YTV2012/ytv2012_osa_7_maaralas-kenta.pdf

BuildingSMART Finland (2012d). Yleiset tietomallivaatimukset 2012: Osan 5 täydentävä liite: RAK-tilaajan ohje, Senaatti-kiinteistöt, 9 s., http://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2016/11/YTV2012_Taydentava_liite_RAK_Tilaajan_ohje.pdf

Cavieres, A., Gentry, R. & Al-Haddad, T. (2011). Knowledge-based parametric tools for concrete masonry walls: Conceptual design and preliminary structural analysis, Automation in Construction, Vol. 20(6), 716-728 s., Saatavissa (viitattu 04.09.2017): <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580511000045>.

Cheung, F.K.T., Rihan, J., Tah, J., Duce, D. & Kurul, E. (2012). Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models, *Automation in Construction*, Vol. 27(1), 67-77 s.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (2011). *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, 2nd ed ed. John Wiley & Sons, Hoboken, N.J., 648 s.

Haahtela, Y. (2015). *Talonrakennuksen kustannustieto 2015*, Haahtela-kehitys Oy, Tampere, 384 s.

Harmanen, M. (2010). *Betonielementtikohteiden tietomallipohjainen suunnitteluprosessi (diplomityö)*, Tampereen teknillinen yliopisto, 85 s. Saatavissa: <https://tut.finna.fi/Record/tutcat.195624>.

Hietanen, J. (2005). *Tietomallit ja rakennusten suunnittelu : filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista*, Rakennustieto, Helsinki, 95 s.

Karstila, K. (2005). *ProIT: Rakennusten tuotemallintamisen sanasto*, Rakennusteollisuus RT, 44 s., Saatavissa: (viitattu: 19.09.2017): http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_sanasto_v10.pdf

Karstila, K. & Serén, K. (2005a). *ProIT: Tiedonsiirron käyttötapaus: Määrätiedon siirto*, Rakennusteollisuus RT, 46 s., Saatavissa: (viitattu: 27.09.2017): http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_dexuc_maatieto_versio_10_2005_01_31.pdf

Karstila, K. & Serén, K. (2005b). *ProIT: Tiedonsiirron käyttötapaus: Rakennussuunnittelu -> Määrä- ja kustannuslaskenta*, Rakennusteollisuus RT, 56 s., Saatavissa: (viitattu: 18.09.2017): http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_dexuc_arktot_versio_10_2005_01_14.pdf

Kivistö, J. (2015). *Talonrakennushankkeen määrä- ja kustannuslaskenta*, 25.03.2015 ja 01.04.2015, RAK-52000 Rakennusalan kustannuslaskenta, Luento, TTY, 274 s.

Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemioja, S. (2006). *ProIT: Tuotemallintaminen rakennushankkeessa : yleiset periaatteet*, Rakennustieto Oy, Helsinki, 64 s.

Rakennusteollisuus RT ry , *ProIT- kehityshanke*, WWW, Saatavissa (viitattu 22.09.2017): <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/>

Ratu T-431 (2007). *Talo 2000 -nimikkeistö Ratussa*, Rakennustietosäätiö, Helsinki, 4 s.

RT 10-11224 (2016). *Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu*, Rakennustietosäätiö, Helsinki, 4 s.

RT 10-11226 (2016). Talonrakennushankkeen kulku. Kustannusten muodostuminen ja ohjaus, Rakennustietosäätiö, Helsinki, 5 s.

Sabol, L. (2008). Challenges in cost estimating with Building Information Modeling, IFMA World Workplace, 16 s.

Sironen, A. (2014). Rakennesuunnittelijan tuottaman tietomallin BEC-määräluetteloiden luotettavuus betonielementtirakennuksen tarjousvaiheen määrälaskennassa, Aalto University, 111 + 48 s. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201405221887> [urn].

Sulankivi, K., Nykänen, V., Koskela, L. & Teriö, O. (2002). ProIT: Nykyinen suunnittelu-rakentamisprosessi: Lähtötilannekuvaus tuotemallitekнологiaa hyödyntävälle prosessille, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 36 s., Saatavissa: (viitattu 13.09.2017): http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_prosessi_esiselvitys.pdf

Talo-80 -ryhmä (1982). Määrälaskentaohje Talo-80 nimikkeistöjärjestelmän mukaan, Rakentajain kustannus, Helsinki, 147 s.

Talo-80 -ryhmä (1984). Yleisseloste Talo-80 nimikkeistöjärjestelmän mukaan, 3. p. ed. Rakentajain kustannus Oy, Helsinki, 120 s.

Talo-nimikkeistöryhmä , Suositukset Talo 2000 -nimikkeistön käytöstä tietomalleissa, Rakennustieto, , WWW, Saatavissa (viitattu 18.09.2017): https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5k2Ih5ORz/6HdGVcacZ/Suositukses_Talo-2000_-nimikkeiston_kaytosta_tietomalleissa.pdf

Talo-nimikkeistöryhmä (2008). Talo 2000 -nimikkeistö : yleisseloste, Rakennustieto, Helsinki, 127 s.

Teittinen, T. (2009). Tietomallipohjainen määrä- ja kustannuslaskenta (erikoistyö), Tampereen teknillinen yliopisto, 10 s.

Varis, M. & Romo, I. (2004). ProIT: Tuotemallinnus rakennesuunnittelussa: Perusteet ja ohjeita I, Rakennusteollisuus RT, 100 s., Saatavissa: (viitattu 08.09.2017): http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/proit/julkiset_tulokset/proit_rakennesuunnitteluohje_syyskuu2004.pdf

LIITTEET

LIITE 1: RAK-, ARK- ja TATE-tietomallit (YTV2012, osa 1)

ARK	RAK	TATE	
Vaatusmalli	Vaatusmalli	Vaatusmalli	
Talukkomuotoinen tilaohjelma, tilaajan ja käyttäjän vaatimukset	Tilakohtaiset kuormat ja muut mahdolliset rakenteelliset vaatimukset	Tilojen talotekniset vaatimukset (sisäilmasto, valaistus, järjestelmä-tarpeet jne.)	- tilantarpeiden ja muiden vaatimusten dokumentointi strukturoidussa muodossa
Tontin malli			
Tontin rajat, korkeusasemat, tarvittavat liittymät ympäristöön ja teknisiin järjestelmiin			- tontin käytön suunnittelu - rakennuksen/rakennusten sijainti tontilla
Inventointimalli	Inventointimalli	Inventointimalli	
Olemassa olevan rakennuksen tilat ja rakennusosat. Mallin voi laatia mittaaaja, arkkitehti tai joku muu tah.	Kantavat rakenteet, sisältyvät useinmiten samaan malliin arkkitehtiosion kanssa	Eritistapaüksissa mallinnetaan talotekniset järjestelmät tarvittavassa laajuudessa	- korjausrakentamisen lähtötilanteen dokumentointi
Tilaryhmämalli			
Tilaryhmämalli on tilamallin erikoistapaus. Siinä keskeiset tilaryhmät esitetään tilaobjekteina ja rakennusmassat erikseen määritellyssä tarkkuudessa käyttötarkoituksesta riippuen.			- rakennuksen massoittelemien tutkiminen ja havainnollistaminen sekä vaihtoehtojen vertailu - laajuuteen ja massoittelemien perustuva investointilaskenta - tarvittaessa karkea energiasimulointi
Tilamalli	Tilamalli	Tilamalli	
Tilat tilaobjekteina, rakennuksen ulkovaippa	Rakennajärjestelmäehdotus, perustusrakennus-ehdotus	TATE-järjestelmien palvelualueet, pääkanavistot, -hormit, merkittäviä tilavaatimuksia aiheuttavat putkistot, kaapeliliittymät ja muut tekniset järjestelmät sekä tekniset tilat	- vaihtoehtojen tilaratkaisujen suunnittelu ja havainnollistaminen - laajuuden hallinta - investointilaskenta - energiasimulointi ja tarvittaessa olosuhtesimulointi (järjestelmien mitoitusperusteiden selvittäminen) - TATE-järjestelmävaihtoehtojen tutkiminen ja palvelualueiden määrittäminen - rakennajärjestelmävaihtoehtojen tutkiminen - rakenteiden ja järjestelmien tilantarpeista sopiminen
Rakennusosa- ja järjestelmämallit			
Rakennusosa- ja järjestelmämallit ovat keskeinen osa suunnittelua ja hankkeen tiedonhallintaa.			
Alustava rakennusosamalli	Alustava rakennusosamalli	Alustava järjestelmämalli	
Tilat, alustavat rakennusosat	Runkorakenteet (pysty- ja vaakarungon mitat, sijainnit & dimensiot), sovitut mallidetailit, perustukset, rakennusosien alustavat tyypitratkaisut	TATE-järjestelmien palvelu-alueet, runkokanavat, -putket ja keskuslaitteet, tyypittilamalli	- rakennusosien määrittely, rakennusosa- ja rakennusvalintojen vertailu - määrätiedon hallinta - investointilaskenta - energiasimulointi ja tarvittaessa olosuhtesimulointi (järjestelmien mitoitusperusteiden tarkentaminen) - rakenteiden alustava mitoitus - rakennuslupa
Rakennusosamalli - laskenta	Rakennusosa-/varausmalli - laskenta	Järjestelmä-/varausmalli - laskenta	
Tilat, rakennusosat tyypittietoineen	Runkorakenteet (pysty- ja vaakarungon mitat, sijainnit & dimensiot, mallielementit, tyypitratkenteet & liittokset, perustukset), liittokset perustuksiin, varaukset	TATE-järjestelmien palvelualueet, keskuslaitteet, kanavistot, putkistot, päätelaitteet, keskusket, johtotiet (johto- ja kaapelikourut sekä -arinat), valaisimet	- rakenteiden mitoitus tarjouspyyntöjen vaatimaan tarkkuuteen - TATE-järjestelmien määrittely - määrätietojen tuottaminen - investointilaskenta - energiasimulointi - mallien käyttö urakkatarjousten liitteinä - mallien käyttö reikä- ja varaussuunnittelun apuna
Rakennusosamalli - toteutus	Rakennusosa-/varausmalli - toteutus	Järjestelmä-/varausmalli - toteutus	
Edellisen vaiheen tarkkuustasoa vastaava malli päivitettyinä toteutusta vastaavaksi	Runkorakenteet ja liittokset, lähtötiedot valmisosasuunnitteluun, valuosat ja paikallavalurakenteiden raudoitukset, perustukset, liittokset perustuksiin, varaukset, detailit	TATE-järjestelmien palvelualueet, keskuslaitteet, kanavistot, putkistot, päätelaitteet, keskusket, johtotiet (johto- ja kaapelikourut sekä -arinat), valaisimet	- toteutussuunnittelu - tiedot valmisosasuunnitteluun ja tuotannonsuunnitteluun
Toteumamalli	Toteumamalli	Toteumamalli	
Edellisen vaiheen tarkkuustasoa vastaava malli päivitettyinä toteutusta vastaavaksi	Edellisen vaiheen tarkkuustasoa vastaava malli päivitettyinä toteutusta vastaavaksi	Edellisen vaiheen tarkkuustasoa vastaava malli päivitettyinä toteutusta vastaavaksi	- tiedot huoltoon ja ylläpitoon, tilahallintaan, myöhemmän käytön suunnitteluun

LIITE 2: Rakentamisosanimikkeistö (RO) (Talo 80)

0 RAKENNUTTAJAN KUSTANNUKSET	1 MAA- JA POHJARAKENUS	2 PERUSTUKSET JA ULKOPUOLISET RAKENTEET	3 RUNKO- JA VESIKATTORAKENTEET	4 TÄYDENTÄVÄT RAKENTEET	5 PINTARAKENTEET	6 KALUSTEET, VARUSTEET, LAITTEET	7 KONTEKNISET TYÖT	8 TYÖMAAN KÄYTTÖKUSTANNUKSET	9 TYÖMAAN YHTEISKUSTANNUKSET
01	11 Raivaus ja purku	21 Anturat	31	41 Ikkunat	51 Vesikate	61 Kalusteet	71 Lämpö-, vesi- ja viemärityöt	81 Työnaikaiset rakenteet	91 Työmaan hallinto
02 Rahoituskulut	12 Maankaivu	22 Perusmuurit, -palkit ja -pilarit	32 Kantavat väliseinät ja pilarit	42 Erityisikkunat	52 Sisäseinien pintarakenteet	62 Varusteet	72 Ilmanvaihtotyöt	82 Työnaikaiset asennukset	92 Avustavat rakennustyöt
03 Suunnittelu ja tutkimus	13 Louhinta	23 Kantava alapohja	33 Laatat ja palkit	43 Ovet	53 Sisäkattojen pintarakenteet	63 Laitteet ja koneet	73 Sähkötyöt	83 Työmaan koneet ja laitteet	93 Ulkomaisen toiminnan erityiskustannus
04 Yhtiökulut, osuudet korvauksineen?	14 Pohjarakenteet ja vahvistus	24	34 Portaat	44 Erityisovet	54 Porrashuoneen pintarakenteet	64 Tilaryhnmäkalusteet	74 Siirtotekniikka	84 Työkoneet, työkalut ja -välineet	94 Talviliisätyöt
05 Rakennuttaminen ja valvonta	15 Salaojat ja putkijohdot	25 Väestönsuojarakenteet	35 Ulkoseinät	45 Kevyet väliseinät	55 Ulkoseinien pintarakenteet	65	75	85 Työmaan käyttötarvikkeet	95 Urakkahinnan muutokset
06 Liittymismaksut	16 Täyttö ja tiivistys	26 Maanvarainen laatta	36 Ulkotasot ja parvekkeet	46 Erityisväliseinät, jakoseinät	56 Lattian pintarakenteet	66	76	86 Käyttöönottoenergia	96 Sopimusohjaukset erityiskustannukset
07 Markkinointi	17 Rakennusalueen rakenteet	27 Erityisrakenteet	37 Ullakko ja kattorakenteet	47 Kaitteet, hoitotasot ja -sillat	57 Erityistilan pintarakenteet	67 Väestönsuojavarusteet	77	87 Työmaakuljetukset	97 Työntekijöiden palkalisät
08 Ulkomaisen toiminnan erityiskustannus	18 Ulkovarusteet	28 Ulkopuoliset rakenteet	38 Tilaelementit	48 Hormit, tulisijat, kanavat, pliiput	58 Maalaus, tapetointi	68	78 Rakennuttajan hankintojen aputyöt	88 Ulkomaisen toiminnan erityiskustannus	98 Työntekijöiden sosiaalikulut
09	19	29	39	49	59	69	79	89	99

LIITE 3: Suoritusnimikkeistö (SUO) (Talo 80)

1 MUOTTITYÖ	2 RAUDOITUS JA BETONITYÖ	3 METALLI- JA PELTITYÖ	4 MUURAUS, RAPPAUS JA LAATOITUS	5 ELEMENTTITYÖ	6 PUU- JA LEVITYÖ	7 LÄMMÖN- JA ÄÄNENERISTYS	8 VEDEN- JA KOSTEUDEN-ERISTYS	9 MUUTTUYÖT
11 Lautamuottityö	21 Raudoitus	31	41 Tiilimuuraus	51 Betonielementti-työ	61 Puurunkotyö	71 Pehmeä mineraalivilla	81 Sivelveristys	91 Luonnonkivityö
12 Levymuottityö	22 Betonointi	32	42 Harkkomuuraus ja ladonta	52 Kevytbetoni-elementtityö	62 Levytyö	72 Kova mineraalivilla	82 Bitumikermieristys	92 Lasilevytyö
13 Kasettimuottityö	23 Betonin jälkityö	33 Teräsrunkotyö	43	53 Metallielementti-työ	63 Puuverhouk	73 Ruiskueristys	83 Muu kermieristys	93 Mattotyö
14 Suurmuottityö	24 Betonipintojen hionta	34	44	54 Tiilielementtityö	64	74 Solumuovieristys	84 Muovikalvoieristys	94 Muovi-, levy- ja profiilit
15 Pöytämuottityö	25	35 Muototankotyö	45 Ohutrappaus	55	65 Rakennus-puusepäntyy	75 Kevytsoaeristys	85 Valueristys	95 Maalaus ja tapetointi
16 Kulma- ja tunnelimuottityö	26 Pintabetonityö	36 Peltityö	46 Rappaus	56 Puuelementtityö	66 Listoit	76 Kevytbetonieristys	86 Metallilevieristys	96
17 Erityismuottityö	27 Sementtityö	37 Muotolevytyö	47 Tasoitetyö	57 Elementtien jälkityö	67 Heloit	77 Muu lämmön- ja äänenieristys	87	97
18 Muottien purku ja puhdistus	28 Betonimassan valmistus	38 Muu metallityö	48 Laatoitus	58 Elementtien sauma	68	78 Paperieristys	88	98
19	29	39	49	59	69	79	89	99

LIITE 4: Tietomallien sisältövaatimus nimikkeittäin (YTV2012, osa 7)

Nimikkeet/ rakennusosat (Talo 2000 Hankenimikkeistö)	Arkkitehdin tietomalli	Rakenne- suunnit- telijan tietomalli	Tate- järjestelmä- malli(t)	Huom!
1.1 Alueosat				
1.1.1 Maaosat	(x)	(x)	(x)	
1.1.2 Tuennat ja vahvistukset		x		
1.1.3 Päälysteet	x			
1.1.4 Aluevarusteet	x			
1.1.5 Aluerakenteet	x	(x)		
1.2 Talo-osat				
1.2.1 Perustukset		x		
1.2.2 Alapohjat	(x)	x		
1.2.3 Runko	(x)	x		
1.2.3.1 Väestönsuojat	(x)	x		
1.2.3.2 Kantavat seinät	(x)	x		
1.2.3.3 Pilarit	(x)	x		
1.2.3.4 Palkit	(x)	x		
1.2.3.5 Välipohjat	(x)	x		
1.2.3.6 Yläpohjat	(x)	x		
1.2.3.7 Runkoportaat	(x)	x		
1.2.3.8 Erityiset runkorakenteet		x		
1.2.4 Julkisivut	x			
1.2.4.1 Ulkoseinät	(x)	x		
1.2.4.2 Ikkunat	x			
1.2.4.3 Ulko-ovet	x			
1.2.4.4 Julkisivuvarusteet	x			
1.2.4.5 Erityiset julkisivuvarusteet	x			
1.2.6 Vesikatot	x			
1.2.6.1 Vesikattorakenteet	(x)	x		
1.2.6.2 Räystäsrakenteet	(x)	(x)		
1.2.6.3 Vesikatteet	x			
1.2.6.4 Vesikattovarusteet	x			
1.2.6.5 Lasikattorakenteet	x			
1.2.6.6 Kattoikkunat ja luukut	x			
1.2.6.7 Erityiset vesikattovarusteet	x			

1.3 Tilaosat				
1.3.0 Tilaobjektit	x			
1.3.1 Tilan jako-osat	x			
1.3.1.1 Väliseinät	x			
1.3.1.2 Lasiväliseinät	x			
1.3.1.3 Erityisväliseinät	x			
1.3.1.4 Kaiteet	x			
1.3.1.5 Väliovet	x			
1.3.1.6 Erityisovet	x			
1.3.1.7 Tilaportaat	x			
1.3.1.8 Erityiset tilajako-osat	x			
1.3.2 Tilapinnat	x			
1.3.2.1 Lattioiden pintarakenteet	x			
1.3.2.2 Lattiapinnat	(x)			
1.3.2.3 Sisäkattorakenteet	x			
1.3.2.4 Sisäkattopinnat	(x)			
1.3.2.5 Seinien pintarakenteet	x			
1.3.2.6 Seinäpinnat	(x)			
1.3.2.7 Erityiset tilapinnat	(x)			
1.3.3 Tilavarusteet	(x)			
1.3.3.1 ja 2 Kiintokalusteet	x			
1.3.4 Muut tilaosat	x			
1.3.4.1 Hoitotaso ja kulkurakenteet	x			
1.3.4.2 Tulisijat ja savuhormit	(x)	(x)	(x)	
1.3.4.3 Muut erityiset tilaosat	(x)			

Nimikkeet/ tekniikkaosat (LVI2010- nimikkeistö)	Arkkitehdin tietomalli	Rakenne- suunnit- telijan tietomalli	Tate- järjestelmä- malli	Huom!
21 LVI-perusjärjestelmät				Järjestelmä mallinnetaan suunnittelusopimuksen ja mallintamisen tarkkuustasovaatimuksen edellyttämässä laajuudessa
21.1 Lämmitys-järjestelmät			x	
21.11 Lämmityksen keskusosat			x	
21.12 Lämmityksen siirto-osat			x	
21.13 Lämmityksen pääteosat			x	
21.14 Lämmityksen alueosat			(x)	
21.2 Vesi- ja viemärijärjestelmät			x	
21.21 Vesi- ja viemäri- järjestelmien keskusosat			x	

21.22 Vesi- ja viemäri-järjestelmien siirto-osat			x	
21.23 Vesi- ja viemäri-järjestelmien pääteosat	(x)		x	
21.24 Vesi- ja viemäri-järjestelmien alueosat		(x)	x	
21.3 Ilmastointi-järjestelmät			x	
21.31 Ilmastoinnin keskusosat			x	
21.32 Ilmastoinnin siirto-osat			x	
21.33 Ilmastoinnin pääteosat	(x)		x	
21.34 Ilmastoinnin alueosat			x	
21.4 Jäähdytys-järjestelmät			x	
21.41 Jäähdytyksen keskusosat			x	
21.42 Jäähdytyksen siirto-osat			x	
21.43 Jäähdytyksen pääteosat	(x)		x	
21.44 Jäähdytyksen alueosat			x	
21.5 Palontorjunta-järjestelmät			x	
21.51 Palontorjunnan keskusosat			x	
21.52 Palontorjunnan siirto-osat			x	
21.53 Palontorjunnan pääteosat			(x)	
21.54 Palontorjunnan alueosat	(x)		x	
21.6 Väestönsuojien LVI-järjestelmät			x	
21.61 Väestönsuojien LVI-järjestelmien keskusosat			x	
21.62 Väestönsuojien LVI-järjestelmien siirto-osat			x	
21.63 Väestönsuojien LVI-järjestelmien pääteosat	(x)	(x)	(x)	
21.64 Väestönsuojien LVI-järjestelmien alueosat	(x)	(x)	(x)	
22 LVI-erityisjärjestelmät				Suunnittelusopimuksen ja mallintamisen tarkkuustasovaatimuksen edellyttämässä laajuudessa.
22.1 Paineilmajärjestelmät			x	
22.2 Kaasujärjestelmät			x	
22.3 Höyryjärjestelmät			x	
22.4 Nestejärjestelmät			x	
22.5 Uima-altaiden vedenkäsittelyjärjestelmät			x	
22.6 Ilmatekniset järjestelmät			x	
22.7 Pottomoottorien LVI-järjestelmät			x	

Sähköjärjestelmät				
Muuntajat			x	
Kojeistot			x	
Pääkeskukset			x	
Virtakiskot			x	
Kompensointiparistot			x	
Akustot			x	
Jakokeskukset			x	
Ristikytöntelineet			x	
Telejärjestelmien keskuslaitteet			x	
Turvajärjestelmien keskuslaitteet			x	
Kaapelihiyllyt ja ripustuskiskot			x	
Johtokourut			x	
Lattiakanavat ja rasiat			x	
Pystynousut			x	
Valaisimet			x	
Poistumistievalaisimet			x	
Vara- ja turvavalaisimet			x	
Kaiuttimet			x	
Oviohjauskeskukset			x	
RAU-keskukset			x	

LIITE 5: Hankintoja palveleva suunnittelu (YTV2012, osa 5)

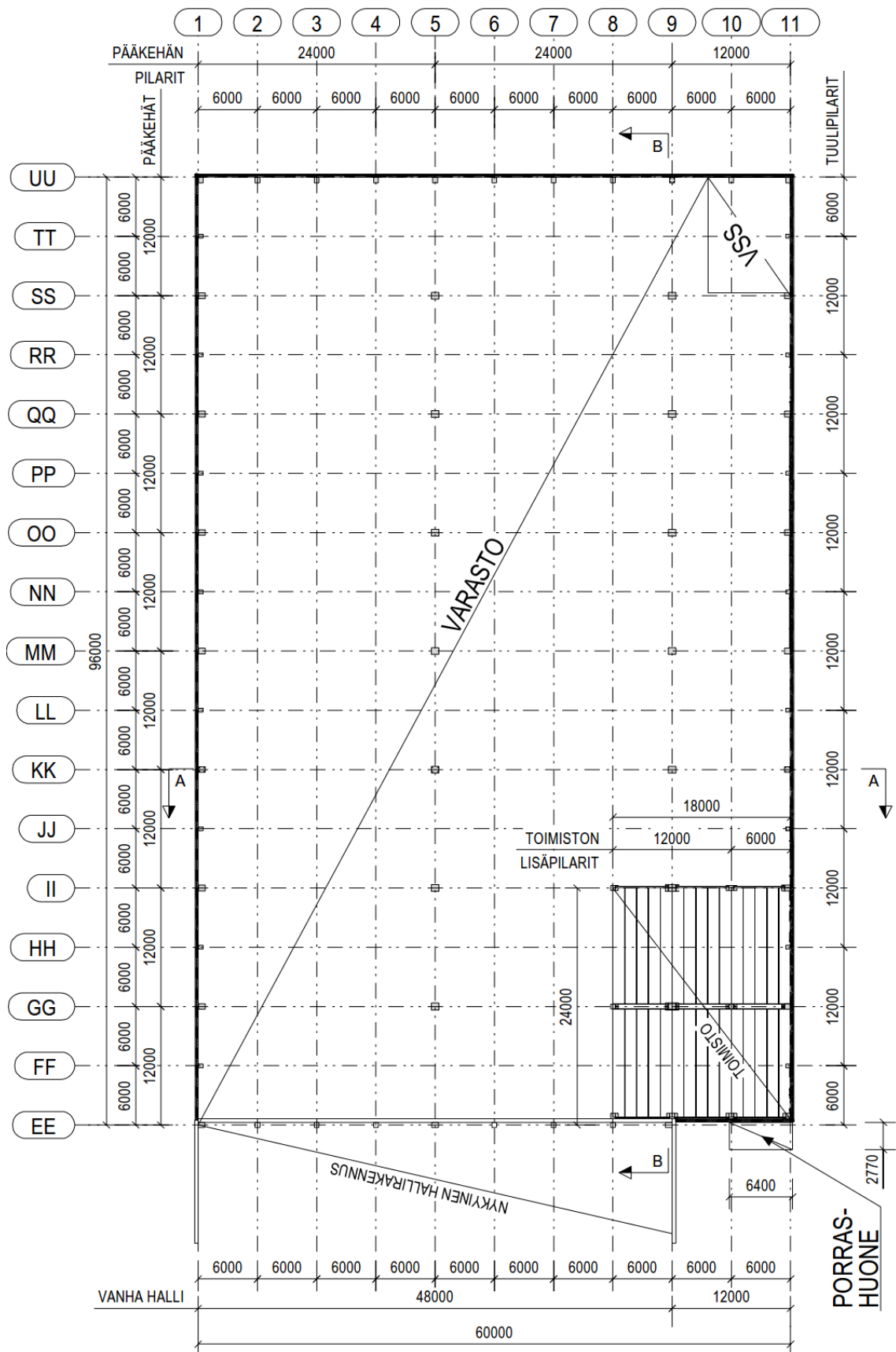
Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus
Perustukset	Paalutukset	x	Paalut mallinnetaan suunnittelun mukaisesti oikeaan paikkaan ja pituuteen
	Anturat	x	<ul style="list-style-type: none"> Tyypianturat mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Muu anturat mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Perusmuurit	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Peruspilarit	x	<ul style="list-style-type: none"> Tyypiperuspilarit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Muu peruspilarit mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Peruspalkit	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Lämmöneristeet	(x)	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
Alapohjat	Alapohjalaatta	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Alapohjakanaalit	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Erityiset alapohjat	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.

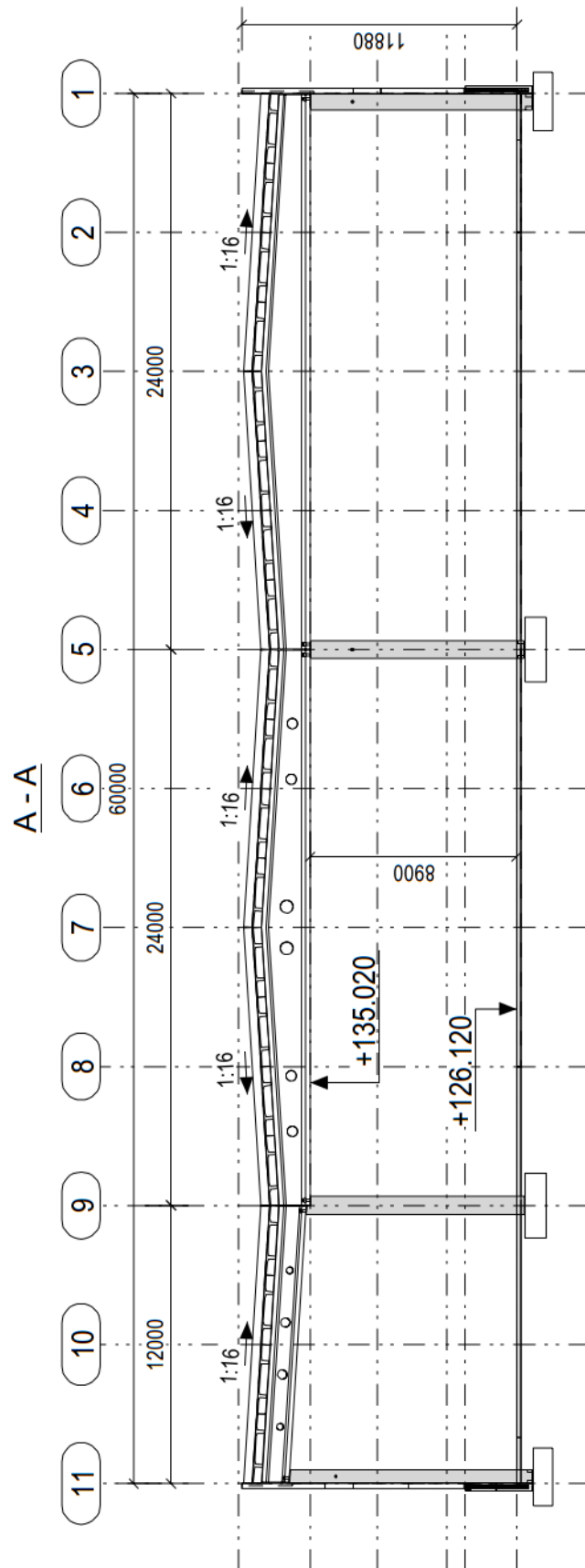
Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus
Alapohjat	Lämmöneristeet	(x)	Mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
Runko	VSS	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Kantavat seinät	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Pilarit	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista. Teräskokoonpanoista tehdään betonielementtejä vastaavat mallikokoonpanot liitoksineen (liittopilareihin myös raudoitteet)
	Palkit	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista. Teräskokoonpanoista tehdään betonielementtejä vastaavat mallikokoonpanot liitoksineen
	Välipohjat	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen ja valutarvikkeeseen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.

Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus
Runko	Yläpohja	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymineen ja valutarvikkeineen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Erityiset runkorakenteet	(x)	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten ettei törmäyksiä synny ja rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
Julkisivut	Ulkoseinät	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymineen, raudoitteineen ja valutarvikkeineen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
		(x)	<ul style="list-style-type: none"> Kevyiden julkisivurakenteiden mallintaminen päätetään hankekohtaisesti - voidaan mallintaa esimerkiksi yhtenäisenä seinä objektina määrien takia Julkisivuelementtien pintakäsittelyiden mallintamisesta sovitaan hankekohtaisesti
	Erityiset julkisivurakenteet	(x)	
Ulkotasot	Parvekkeet	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymineen, raudoitteineen ja valutarvikkeineen. Muu elementit ja paikallavalurakenteet mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Katokset	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
	Erityiset ulkotasot	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.

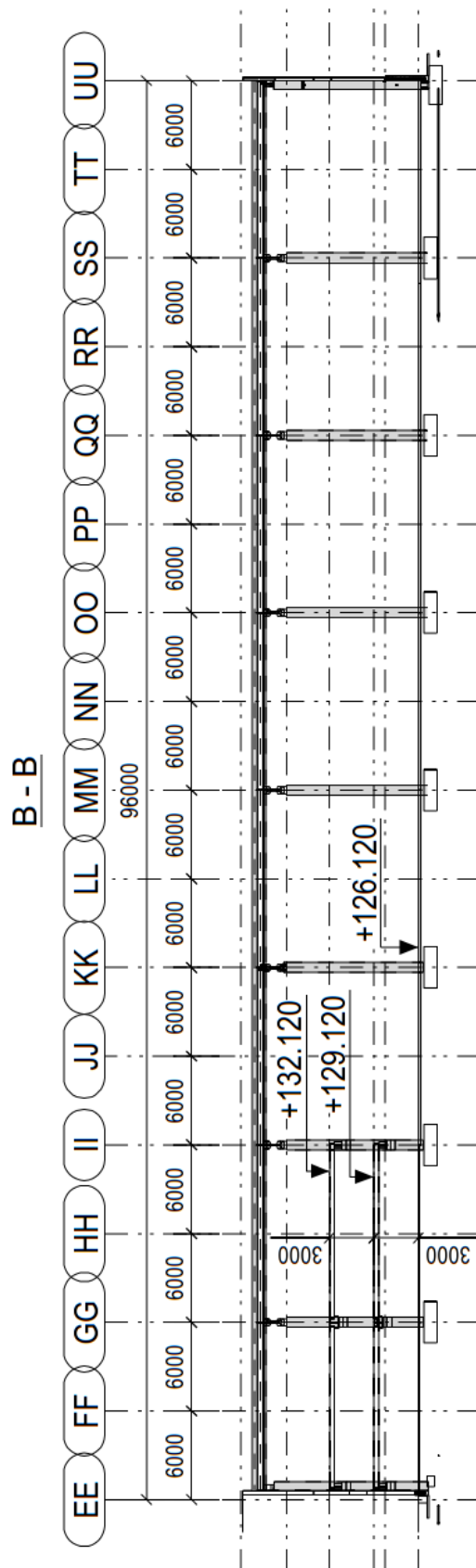
Rakenne	Rakennusosa	x/(x)	Tarkkuus
Vesikatot	Vesikattorakenteet	x	Mallinnetaan siten, että TATE suunnittelija näkee mallista käytettävissä olevan tilan.
	Räystäsrakenteet	(x)	
	Lasikattorakenteet	x	Kantavat rakenteet mallinnetaan perusgeometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
Tilan jako-osat	Ei-kantavat betoniset väliseinät	x	<ul style="list-style-type: none"> Mallielementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, liittymiseen, raudoitteeseen ja valutarvikkeeseen. Muu elementit mallinnetaan geometrian ja sijainnin osalta oikein, siten että törmäyksiä ei synny ja tieto rakenteiden kokonaismäärä selviää mallista.
Muut tilaosat	Rakenteisiin kuuluvat tilaa vievät osat esim palonsuojalevyt	x	Mallinnetaan siten, että TATE suunnittelija näkee mallista käytettävissä olevan tilan.
	Hoitotasot ja kulkureitit	(x)	

LIITE 6: Rakennuksen pohjapiirustus



LIITE 7: Rakennuksen leikkaus lyhyessä suunnassa

LIITE 8: Rakennuksen leikkaus pitkässä suunnassa

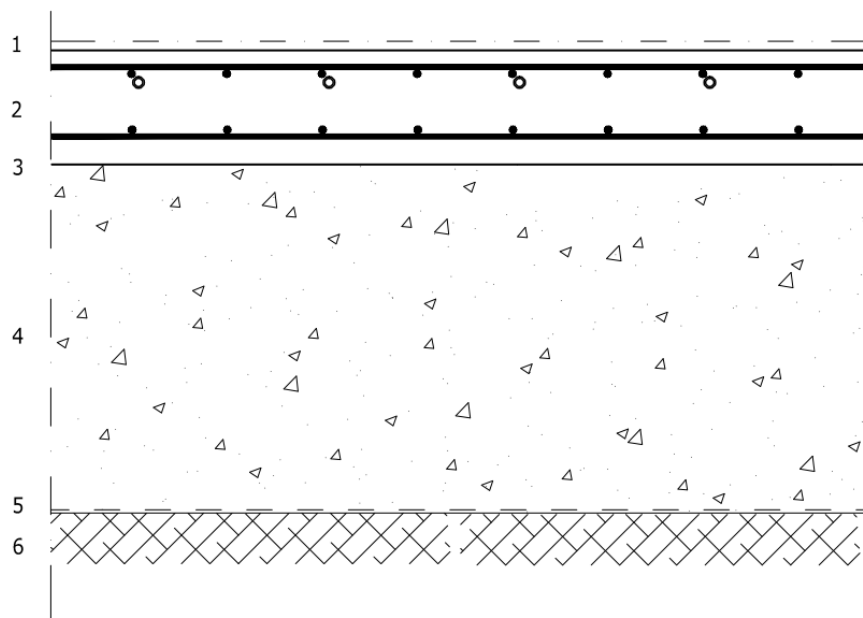


LIITE 9: Rakennetyypit

A	29.09.2017	LISÄTTY SOKKELIN RAUDOITUS, KORJATTU VP 01T NIMI		RSI
tunnus	päivämäärä			muuttanut

K.osa/ kylä	Kortteli/ tila	Tontti/ Rn:o	Viranomaisen merkintöjä	
Rakennustoimenpide UUDISRAKENNUS			Piirustuslaji RAKENNE	Juokseva nro
Rakennuskohteen nimi ja osoite DIPLOMITYÖ - KAIKKI RUNGOT			Piirustuksen sisältö RAKENNETYYTYPIT	Mittakaava 1:10
 Ramboll Finland Oy PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere puh. 020 755 6800 fax 020 755 6801			Suunn.ala RAK	Työnro
			Piirustusnro R+++RT101	Tiedosto R+++RT101.dwg
suunn. (nimi,tutkinto,allekirj.) Ria Siik, rak.tekn.kandidaatti			piirt. RSI	tark. ILKKA
				Muutos pvm. 04.09.2017

Suunnittelija	Työnumero		AP 01
<div><div>RAMBOLL</div><div>PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611</div></div>	Päiväys	Tekijä	
	04.09.2017	RSI	
Rakennuskohde	Sisältö		
DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	ALAPOHJA HALLITILAN KESKIALUE		



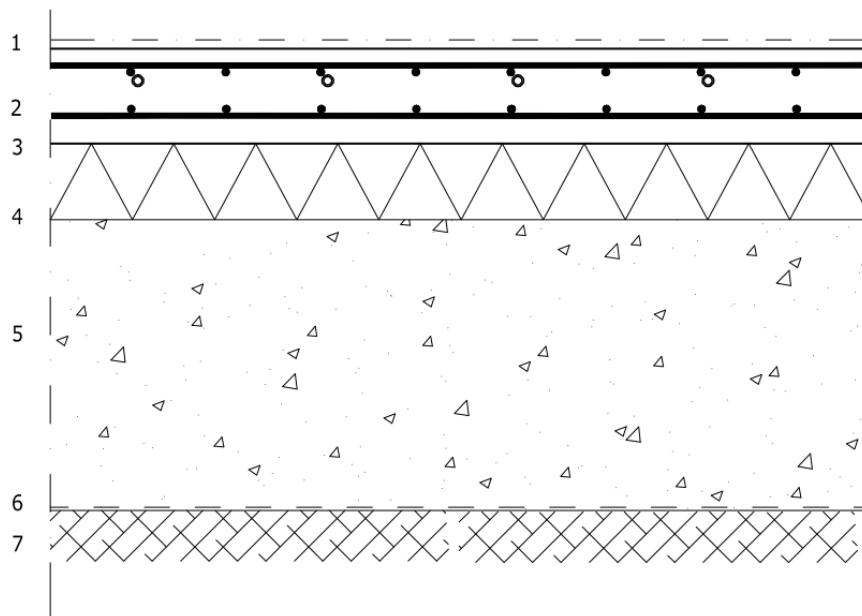
- | | |
|---------|---|
| | 1 Kuivasirote, Mastertop |
| 180 mm | 2 Teräsbetoni-laatta |
| | 3 Valusuojakangas / irroituserros |
| ≥300 mm | 4 Salaojasepeli, #6-16 mm, pesty, tiivistetty 95% |
| | 5 Suodatinkangas KL3 |
| | 6 Perusmaa / kaivannonpohja, perusmaan kallistus 1:100 salaojia kohti |

U-arvo = 0,26 W/m²K
 vaatimus 0,16W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
- betonilaatta irroitetaan joustavalla rakenteella irti ympäröivistä seinistä ja muista kantavista rakenteista sekä LVI-laitteista ja putkista detaljipiirustusten mukaan

Suunnittelija		Työnumero		AP 02
<div>RAMBOLL</div> <div>PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611</div>		Päiväys	Tekijä	
		04.09.2017	RSI	
Rakennuskohde		Sisältö		
DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT		ALAPOHJA VÄESTÖNSUOJA		



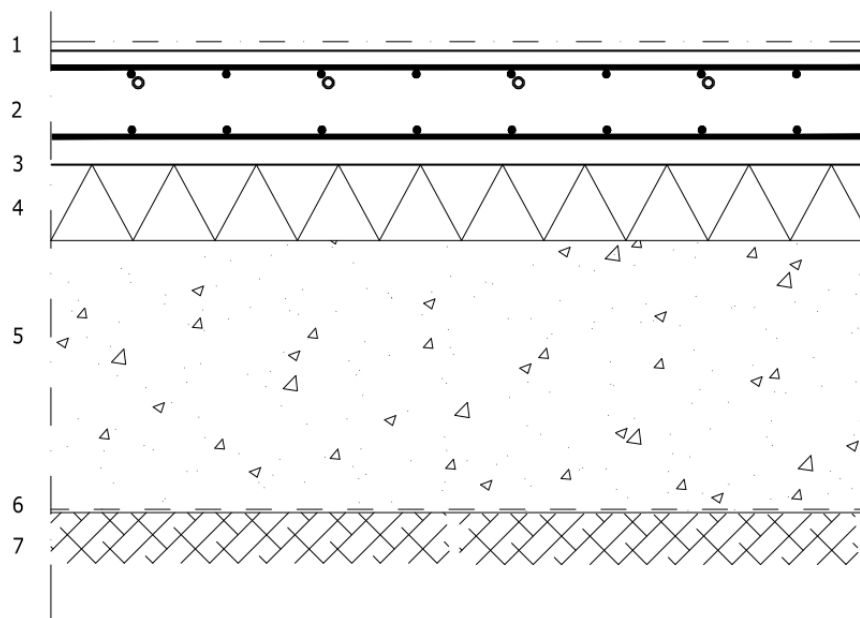
- | | |
|---------|---|
| | 1 Kuivasirote, Mastertop |
| 160 mm | 2 Teräsbetoni-laatta |
| | 3 Valusuojakangas / irroituserros |
| 120 mm | 4 Thermisol EPS 200 Lattia, kuormaluokka FL200 |
| ≥300 mm | 5 Salaojasepeli, #6-16 mm, pesty, tiivistetty 95% |
| | 6 Suodatinkangas KL3 |
| | 7 Perusmaa / kaivannonpohja, perusmaan kallistus 1:100 salaojia kohti |

U-arvo = 0,22 W/m²K
 vaatimus 0,16W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
- betonilaatta irroitetaan joustavalla rakenteella irti ympäröivistä seinistä ja muista kantavista rakenteista sekä LVI-laitteista ja putkista detaljipiirustusten mukaan

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI AP 03
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ALAPOHJA HALLITILAN REUNA-ALUE	



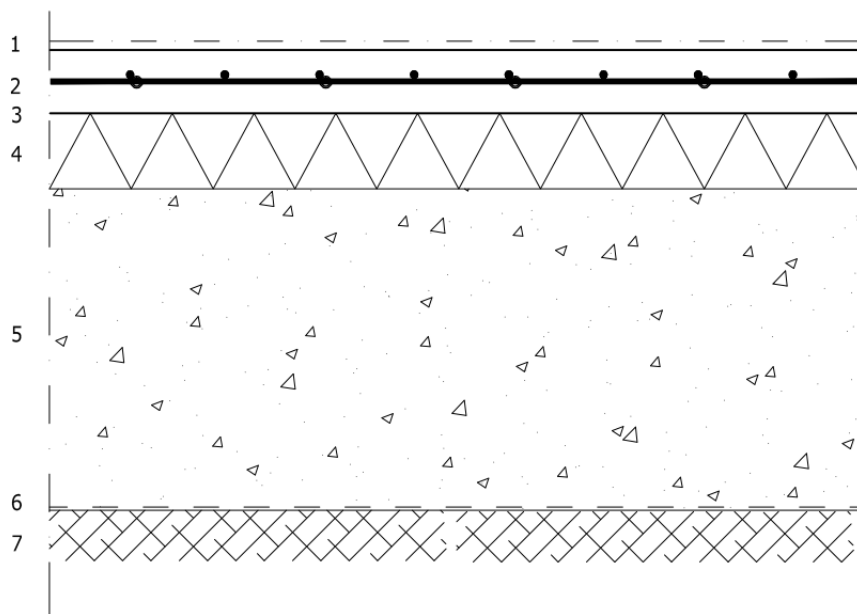
- | | |
|---------|--|
| | 1 Kuivasirote, Mastertop |
| 180 mm | 2 Teräsbetoni-laatta |
| | 3 Valusuojakangas / irroituseros |
| 120 mm | 4 Lämmöneriste suulakepuristettu solupolystyreeni (esim. XPS300),
lämmönjohtavuus 0,037 W/mK, kuormaluokka FL300, puolipontti |
| ≥300 mm | 5 Salaojasepeli, #6-16 mm, pesty, tiivistetty 95% |
| | 6 Suodatinkangas KL3 |
| | 7 Perusmaa / kaivannonpohja, perusmaan kallistus 1:100 salaojia kohti |

U-arvo = 0,22 W/m²K
 vaatimus 0,16W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
- betonilaatta irroitetaan joustavalla rakenteella irti ympäröivistä seinistä ja muista kantavista rakenteista sekä LVI-laitteista ja putkista detaljipiirustusten mukaan

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI AP 04
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ALAPOHJA TOIMISTO	



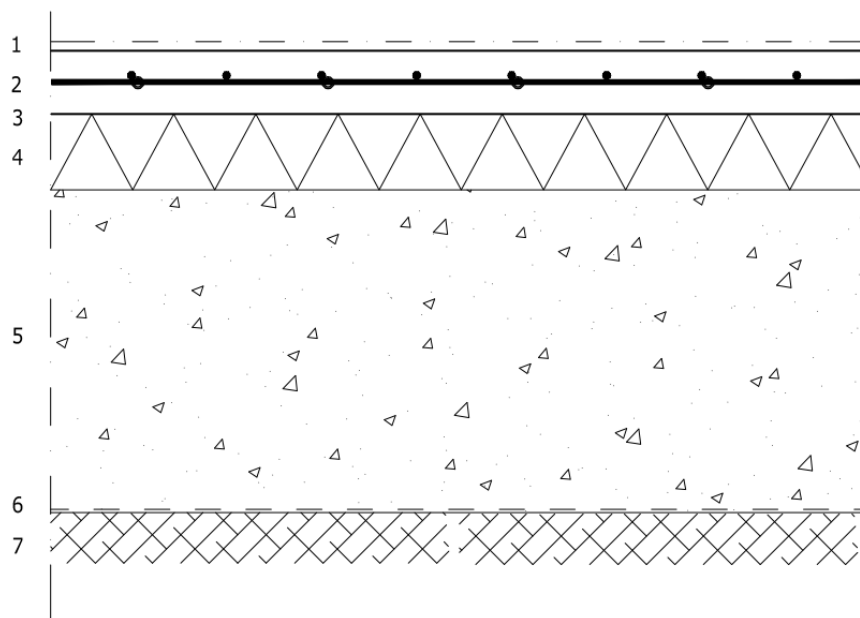
- | | |
|---------|--|
| | 1 Kuivasirote, Mastertop |
| 100 mm | 2 Teräsbetonilaatta |
| | 3 Valusuojakangas / irroituserros |
| 120 mm | 4 Lämmöneriste suulakepuristettu solupolystyreeni (esim. XPS300),
lämmönjohtavuus 0,037 W/mK, kuormaluokka FL300, puolipontti |
| ≥300 mm | 5 Salaojasepeli, #6-16 mm, pesty, tiivistetty 95% |
| | 6 Suodatinkangas KL3 |
| | 7 Perusmaa / kaivannonpohja, perusmaan kallistus 1:100 salaojia kohti |

U-arvo = 0,22 W/m²K
 vaatimus 0,16W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
- betonilaatta irroitetaan joustavalla rakenteella irti ympäröivistä seinistä ja muista kantavista rakenteista sekä LVI-laitteista ja putkista detaljipiirustusten mukaan

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI AP 05
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ALAPOHJA PORRASHUONE	



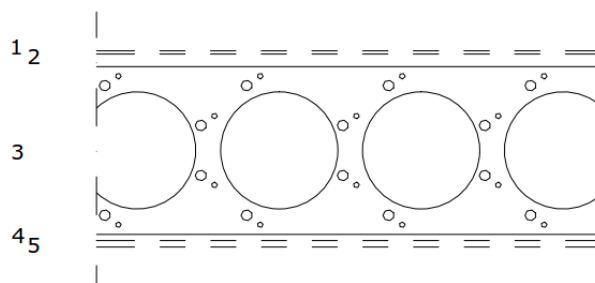
- | | |
|---------|---|
| | 1 Kuivasirote, Mastertop |
| 100 mm | 2 Teräsbetoni-laatta |
| | 3 Valusuojakangas / irroituskeros |
| 120 mm | 4 Thermisol EPS 200 lattia, kuormaluokka FL200 |
| ≥300 mm | 5 Salaojasepeli, #6-16 mm, pesty, tiivistetty 95% |
| | 6 Suodatinkangas KL3 |
| | 7 Perusmaa / kaivannonpohja, perusmaan kallistus 1:100 salaojia kohti |

U-arvo = 0,22 W/m²K
 vaatimus 0,16W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
- betonilaatta irroitetaan joustavalla rakenteella irti ympäröivistä seinistä ja muista kantavista rakenteista sekä LVI-laitteista ja putkista detalji- ja piirustusten mukaan

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI VP 01B
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ BETONIRUNKO	Sisältö VÄLIPOHJA, TOIMISTO	

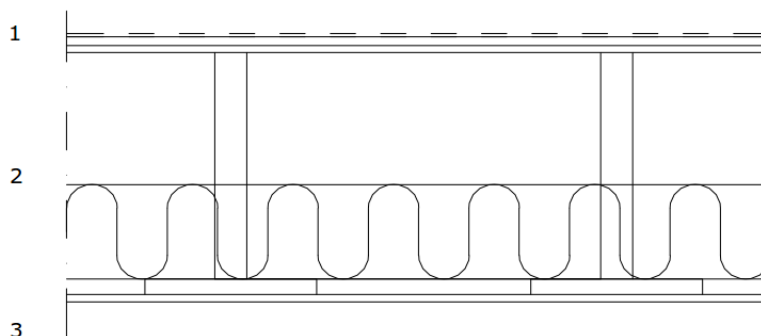


- | | |
|-------|--|
| | 1 Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan |
| 20mm | 2 Tasoite |
| 320mm | 3 Ontelolaatat P32 (4,0 kN/m ²) |
| | 4 Tasoite tarvittaessa |
| | 5 Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan |

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
- vedenpoistoreiät pidettävä auki kunnes vesi on poistunut
- seinien/pilareiden liitokset ja läpiviennit irroitetaan ja tiivistetään ilmaäänitiiviiksi
- ontelolaatan pinta tasoitetaan esim. hienolla kuivalla hiekalla
- sementtiliima hiotaan pois laatan pinnasta 2 viikon jälkeen valusta, kuivumisen ja mahdollisen tartuntapinnan parantamiseksi

Palonkestoluokka: REI30

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI VP 01LP
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ LIIMAPUURUNKO	Sisältö VÄLIPOHJA, TOIMISTO	



- 385 mm
- 1 Pinnoite, ark. mukaan
 - 2 Kerto-Ripa-välipohjaelementti, elementtivalmistajan mukaan
 - 3 Liimapuupalkki (suorakaidepalkki ele.suun. mukaan)

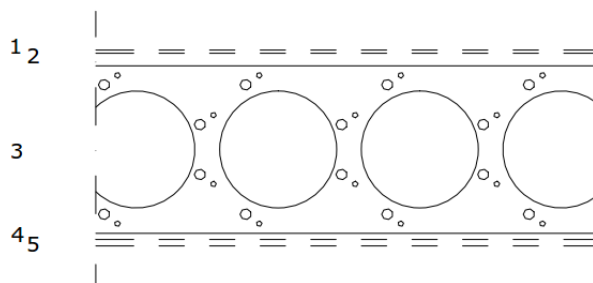
U-arvo = 0,09W/m²K
 vaatimus 0,09W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- vedeneristyksen ja lämmöneristyksen kiinnitys alustaan julkaisujen RIL107 ja Toimivat katot 2013 mukaan
- katteen on oltava luokkaa Broof
- kattorakenteen tuuletus rakennesuunnitelmien mukaan
- kiinnikkeet käyttöluokan KLA mukaisia

Palonkestoluokka: REI30

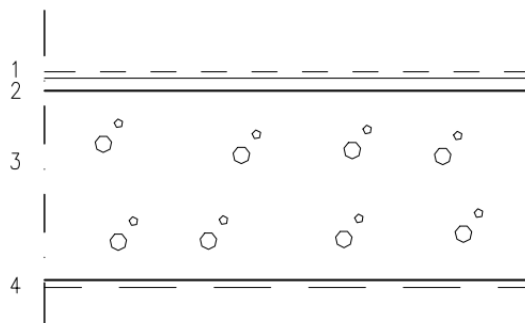
Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI VP 01T
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ TERÄSRUNKO	Sisältö VÄLIPOHJA, TOIMISTO	



- | | |
|-------|--|
| | 1 Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan |
| 20mm | 2 Tasoite |
| 320mm | 3 Ontelolaatat P32 (4,0 kN/m ²) |
| | 4 Tasoite tarvittaessa |
| | 5 Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan |
- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta BY47 kohdan 4.3.2 mukaan tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos se on alempi
 - vedenpoistoreiät pidettävä auki kunnes vesi on poistunut
 - seinien/pilareiden liitokset ja läpiviennit irroitetaan ja tiivistetään ilmaäänitiiviiksi
 - ontelolaatan pinta tasoitetaan esim. hienolla kuivalla hiekalla
 - sementtiliima hiotaan pois laatan pinnasta 2 viikon jälkeen valusta, kuivumisen ja mahdollisen tartuntapinnan parantamiseksi

Palonkestoluokka: REI30

Suunnittelija	Työnumero		VP 02
<div><div>RAMBOLL</div><div>PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611</div></div>	Päiväys	Tekijä	
	04.09.2017	RSI	
Rakennuskohde	Sisältö		
DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	VÄESTÖNSUOJAN KATTO		



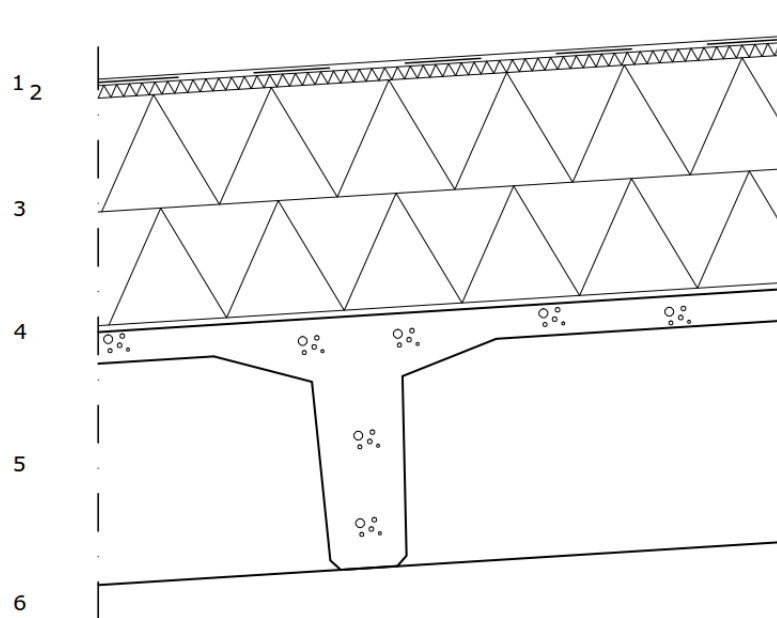
- | | |
|--------|--|
| | 1 Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan |
| 20mm | 2 Tasoite |
| 300 mm | 3 Kantava teräsbetoni-laatta |
| | 4 Pintamateriaali tai -käsittely rakennus-/huoneselostuksen mukaan |

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- betonilaatan suurin sallittu kosteuspitoisuus ennen pintamateriaalin asennusta, BY47 kohta 4.3.2 tai materiaalivalmistajan ilmoittama arvo, jos alempi

Palonkestoluokka: REI30

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI YP 01B
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ BETONIRUNKO	Sisältö YLÄPOHJA	



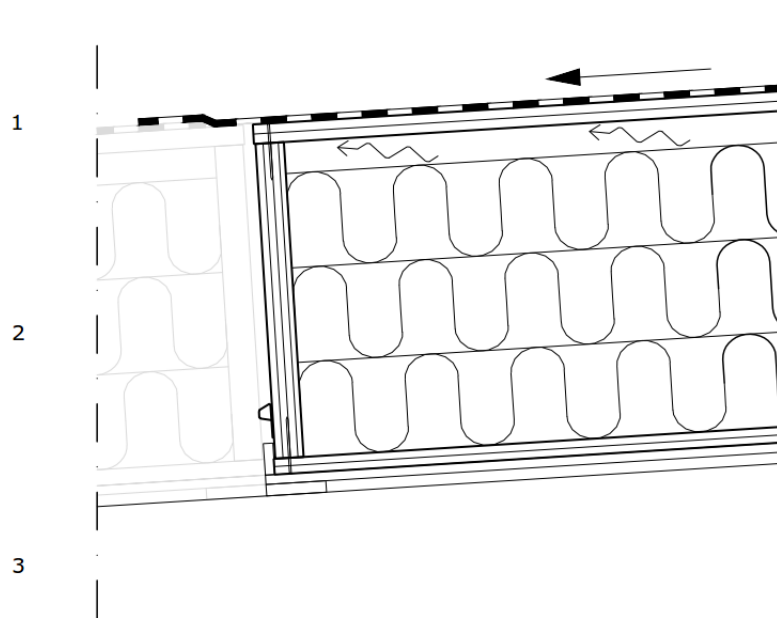
- 1 Kaksinkertainen bitumikermikate, käyttöluokka VE-40, kiinnitys alustaan liimaamalla puhalletulla bitumilla B 95/35 tai B100/25 (ks. julkaisu RIL 107)
- 20 mm 2 Kova uritettu mineraalivilla, $\lambda_D = 0,038 \text{ W/mK}$, puristuslujuus 10% painumalla $\geq 80 \text{ kPa}$, esim. Paroc ROB 80t
- 2x180mm 3 Kova uritettu mineraalivilla, $\lambda_D = 0,036 \text{ W/mK}$, puristuslujuus 10% painumalla $\geq 30 \text{ kPa}$, esim. Paroc ROS 30g
- 4 Höyrynsulku, EL50/200 tai vastaava
- 5 Kantava TT-laatta, TT3000/200/120 (rak.suun. mukaan)
- 6 Teräsbetonipalkki (HI-/I-/suorakaidepalkki rak.suun. mukaan)

U-arvo = $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$
 vaatimus $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ (enintään $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- vedeneristyksen ja lämmöneristyksen kiinnitys alustaan julkaisujen RIL107 ja Toimivat katot 2013 mukaan
- katteen on oltava luokkaa Broof
- kattorakenteen tuuletus rakennesuunnitelmien mukaan
- kiinnikkeet käyttöluokan KLA mukaisia

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI YP 01LP
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ LIIMAPUURUNKO	Sisältö YLÄPOHJA	



650 mm

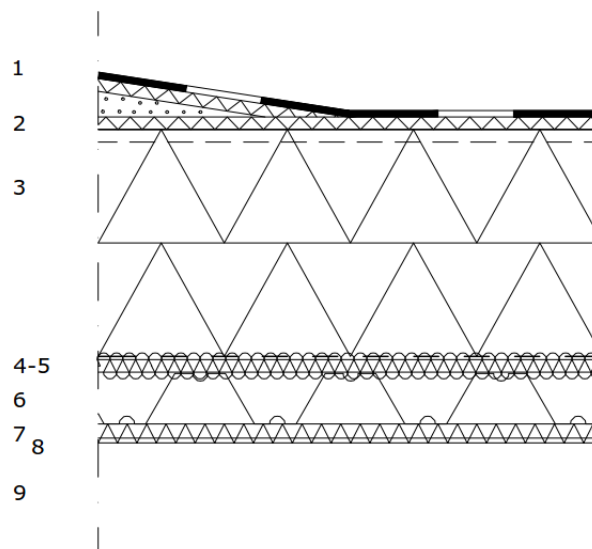
- 1 Kaksinkertainen bitumikermikate, käyttöluokka VE-40, kiinnitys alustaan liimaamalla puhalletulla bitumilla B 95/35 tai B100/25 (ks. julkaisu RIL 107)
- 2 Kerto-Ripa-kattoelementti, elementtivalmistajan mukaan
- 3 Liimapuupalkki (harja-/suorakaidepalkki ele.suun. mukaan)

U-arvo = 0,09W/m²K
 vaatimus 0,09W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- vedeneristyksen ja lämmöneristyksen kiinnitys alustaan julkaisujen RIL107 ja Toimivat katot 2013 mukaan
- katteen on oltava luokkaa Broof
- kattorakenteen tuuletus rakennesuunnitelmien mukaan
- kiinnikkeet käyttöluokan KLA mukaisia

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI YP 01T
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ TERÄSRUNKO	Sisältö YLÄPOHJA	



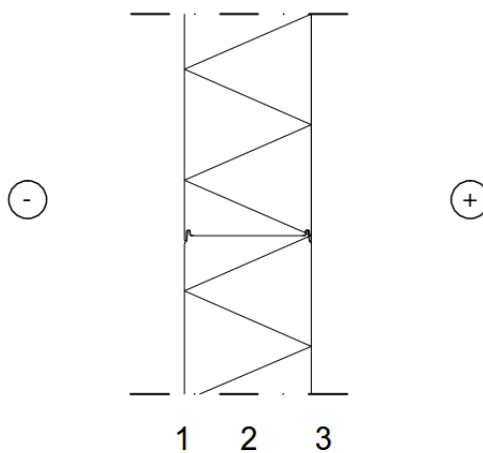
- | | |
|--------|---|
| | 1 Vedeneristys, käyttöluokka VE-40, kiinnitys alustaan liimaamalla puhalletulla bitumilla B 95/35 tai B100/25 (ks. julkaisu RIL 107) |
| 20 mm | 2 Kova mineraalivilla, $\lambda_D = 0,038$ W/mK, puristuslujuus 10% painumalla ≥ 80 kPa, esim. ROB 80t |
| 340 mm | 3 Kova uritettu mineraalivilla, $\lambda_D = 0,036$ W/mK, puristuslujuus 10% painumalla ≥ 30 kPa, esim. ROS 30g (160mm+180mm) |
| | 4 Höyrynsulku, EL50/200 tai vastaava |
| 15 mm | 5 Katevaneri höyrynsulun alustaksi |
| | 6 Ruukki kantava poimulevy T130M-75L-930-7. Kiinnitys jokaisen poimun pohjasta joko itseporautuvin ruuvein tai itsekierteistävin ruuvein rakennepiirustusten mukaan. Limityssauman kiinnitys itseporautuvin ruuvein rakennepiirustusten mukaan. |
| 30 mm | 7 Paroc FPS 17 -palonsuojaeriste |
| | 8 Pintamateriaali tai -käsittely (akustinen verhoilu) rakennus-/huoneselostuksen mukaan |
| | 9 Kattovasat ja pääkannattimet rakennesuunnittelijan mukaan |

U-arvo: 0,09 W/m²K

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- vedeneristuksen ja lämmöneristuksen kiinnitys alustaan julkaisujen RIL107 ja Toimivat katot 2013 mukaan
- katteen on oltava luokkaa Broof
- kattorakenteen tuuletus rakennesuunnitelmien mukaan
- kiinnikkeet käyttöluokan KLA mukaisia
- kallistukset 1:60 tehdään kevytsoralla, joka laitetaan lämmöneristyskerrosten väliin

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI US 01
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ULKOSEINÄ PELTIELEMENTTI	

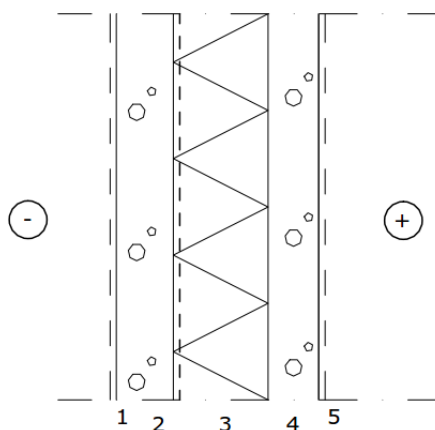


230 mm

- 1 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan
- 2 Kevyt peltielementti, Ruukki SPA E
- 3 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan

U-arvo = 0,17W/m²K
 vaatimus 0,17W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI US 02
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ULKOSEINÄ SEINÄN ALAREUNA	



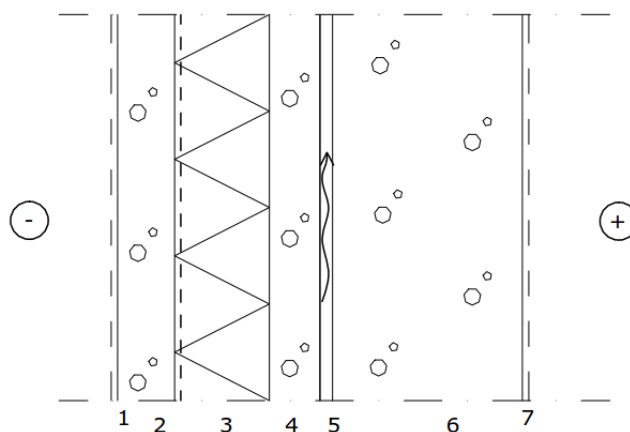
- | | |
|--------|--|
| | 1 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan |
| 90 mm | 2 Ulkokuori, pakkaskestävä betoni, rauditus 2E7 ymp + 4#150 rst |
| 150 mm | 3 Ristiin uritettu, urasuojattu mineraalivilla, EPS 60s |
| 80 mm | 4 Sisäkuori, teräsbetoni elementtisuunnitelman mukaan, rauditus 2T12 ymp + 6#150 + haat T6k200 |
| | 5 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan |

U-arvo = 0,25W/m²K
 vaatimus 0,17W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- eristeen yläpää sadesuojattava kuljetuksen ja asennuksen ajaksi

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017	Tekijä RSI US 03
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ULKOSEINÄ VÄESTÖNSUOJAN SEINÄ	



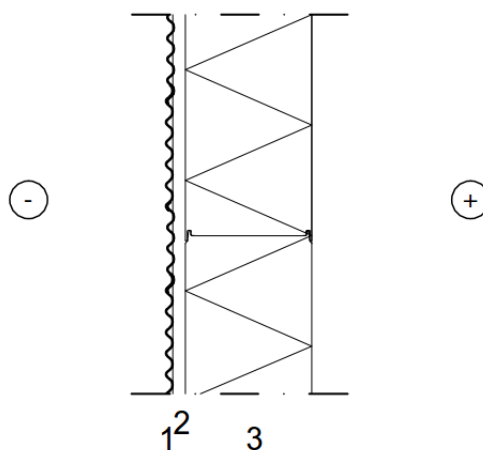
- | | |
|--------|--|
| | 1 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan |
| 90 mm | 2 Ulkokuori, pakkasenkestävä betoni, rauditus US02 mukaan |
| 150 mm | 3 Ristiin uritettu, urasuojattu mineraalivilla, EPS 60s |
| 80 mm | 4 Sisäkuori, teräsbetoni elementtisuunnitelman mukaanraudoitus US02 mukaan |
| 20 mm | 5 Tuuletusrako |
| 300 mm | 6 Teräsbetoni |
| | 7 Pintamateriaali ja -käsittely rakennusselostuksen mukaan |

U-arvo = 0,25W/m²K
 vaatimus 0,17W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

TOTEUTUS- JA SUUNNITTELUOHJEET:

- eristeen yläpää sadesuojattava kuljetuksen ja asennuksen ajaksi

Suunnittelija RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenaukio 2 33101 Tampere Puh. 020 755 611	Työnumero Päiväys 04.09.2017 Tekijä RSI	US 04
Rakennuskohde DIPLOMITYÖ KAIKKI RUNGOT	Sisältö ULKOSEINÄ PELTIELEMENTTI POIMULEVYLLÄ	



- | | |
|--------|--------------------------------------|
| 18 mm | 1 Poimulevy, Ruukki Tokyo S18 |
| 20 mm | 2 Teräsorsi |
| 230 mm | 2 Kevyt peltielementti, Ruukki SPA E |

U-arvo = 0,17W/m²K
 vaatimus 0,17W/m²K (enintään 0,60W/m²K)

RAKENNEOSA	TYYPPI	VALITTU PROFIILI	MATERIAALI	RAUDOITUS	LISÄRAUDOITUS	MITOITUSTAPA
LIIMAPUURUNKO						
Päärunko						
katon sekundäärikannattimet						
	puukattoelementti	H650-2500x25-4(1)x51x600-1	.*	-		Finnwood-ohjelma (MetsäWood)
katon pääkannattimet						
pääkehä	harjapalkki	290x1520-2270	GL30c	-		Excel-pohja + käsinlaskenta
pääkehä	suorakaidepalkki	290x1170	GL30c	-		Excel-pohja + käsinlaskenta
päättykehä	suorakaidepalkki	240x405	GL30c	-		Finnwood-ohjelma (MetsäWood)
pilarit						
pääkehä (reuna, harjapalkki)	suorakaidepilari	290x720	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
pääkehä (keski, harja-harja)	suorakaidepilari	290x855	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
pääkehä (keski, harja-sk)	suorakaidepilari	290x720	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
toimisto	suorakaidepilari	290x810	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
pääkehä (reuna, sk-palkki)	suorakaidepilari	290x585	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
toimisto	suorakaidepilari	290x630	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
tuulipilari (välissä)	suorakaidepilari	165x450	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
päättykehä	suorakaidepilari	190x720	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
perustukset						
pääkehä (reuna, harjapalkki)	pilariantura	2000x1800x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
pääkehä (keski, harja-harja)	pilariantura	1600x1600x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
pääkehä (keski, harja-sk)	pilariantura	1500x1500x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
toimisto	pilariantura	1700x1700x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
pääkehä (reuna, sk-palkki)	pilariantura	1800x1500x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
tuulipilari (välissä)	pilariantura	2200x1800x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	x	Excel-pohja + Peikko Designer
päättykehä	pilariantura	1900x1600x600	betoni C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
Toimisto						
välipohjat						
	välipohjaelementti	R385-2500x25-5(1)x51x360	.*	-		Finnwood-ohjelma (MetsäWood)
palkit						
keskellä ja reunoissa	suorakaidepalkki	240x495	GL30c	-		Finnwood-ohjelma (MetsäWood)
pilarit						
kaksikerrospilari	suorakaidepilari	240x270	GL30c	-		käsinlaskenta + RFEM
perustukset						
kaksikerrospilari	pilariantura	900x900x400	betoni C30/37	T12/12-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
Muut						
perustukset						
sokkelin alla (ei kaikkien)						
porrashuone						
VSS						
lastauslaituri						
porrashuone						
VSS						
lastauslaituri						

SAMAT KUIN BETONIRUNGOSSA

RAKENNEOSA	TYYPPI	VALITTU PROFILI	MATERIAALI	RAUDOITUS	LISÄRAUDOITUS	MITOITUSTAPA
TERÄS-/LIITTORUNKO						
Päärunko						
katon sekundaärirakennattimet						
	kantava poimulevy	T130M-75L-930-07	S350GD+Z275	-		Poimu-ohjelma (Ruukki)
katto-orret						
	teräspalkki	HEB360	S355J2	-		käsinlaskenta
katon pääkannattimet						
	teräsristikko					
	yläpaarre	250x250x10	S420N	-		käsinlaskenta, Excel-pohja, RFEM
	alapaarre	200x200x8.8	S420N	-		käsinlaskenta, Excel-pohja, RFEM
	uumasauvat	150x150x6 / 12x120x6	S355J2H	-		käsinlaskenta, Excel-pohja, RFEM
pääkehä	teräspalkki	2xIPE600	S355J2	-		käsinlaskenta
päätykehä	teräspalkki	HEB260	S355J2	-		käsinlaskenta
pilari						
	pääkehä (reuna, ristikko)					
	suorakaideiliittopilari	CFRH5350x350x10	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
	pääkehä (keski, ristikko-ristikko)	CFRH5350x350x10	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
	suorakaideiliittopilari	CFRH5350x350x10	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
	pääkehä (reuna, palkki)	CFRH5350x350x10	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
	suorakaideiliittopilari	CFRH5200x200x8.8	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
	päätykehä	CFRH5200x200x10	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
perustukset						
	pääkehä (reuna, ristikko)	1700x1500x600	C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	x	Excel-pohja + Peikko Designer
	pilariantura	2000x2000x600	C30/37	T16/16-150/150 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
	pääkehä (keski, ristikko-ristikko)	1600x1600x600	C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
	pääkehä (keski, ristikko-palkki)	2000x2000x600	C30/37	T16/16-150/150 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
	toimisto	1800x1800x600	C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
	pääkehä (reuna, palkki)	2000x1800x600	C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	x	Excel-pohja + Peikko Designer
	tuulipilari (väreissä)	1700x1500x600	C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
	päätykehä					
Toimisto välipohjat						
	ontelolaatta	O32	.*	.*		Finnwood-ohjelma (MetsäWood)
palkit						
	keskellä	WQ320*6-20*340-10*610	S355J2	-		WQBEAM-ohjelma (Ruukki)
	reunoissa	WQ320*6-15*340-10*500-12	S355J2	-		WQBEAM-ohjelma (Ruukki)
pilarit						
	kaksikerrospilari	CFRH5180x180x8.8	S355J2H + C30/37	4T16 + 8K300		Mathcad-laskentapohja +RFEM
perustukset						
	kaksikerrospilari	1600x1600x600	C30/37	T16/16-200/200 + 2T8	-	Excel-pohja + Peikko Designer
Muut perustukset						
	sokkelin alla (ei kaikkien)					
	porrasuone					
	VSS					
	lastauslaituri					
	porrasuone					
	VSS					
	lastauslaituri					

SAMAT KUIN BETONIRUNGOSSA

LIITE 11: Määräluetteloesimerkkejä

RAMBOLL PL 718, Pakkahuoneenkäytö 2, 33101 Tampere Puh. 020 755 611, Fax 020 755 6201 Sähköposti: etunimi.sukunimi@ramboll.fi	BETONIRUNKO / TT-LAATAT MÄÄRÄLUETTELO Laatija: RIA SILK, 0458719587 Lista tehty: 4.9.2017 Luettelon numero: Muutos, päiväys: A / 29.09.2017
Rakennuskohde:	Diplomityö
Rakennuskohteen osoite:	Lempäälä
Työnumero:	

Suunnittelun lähtötiedot

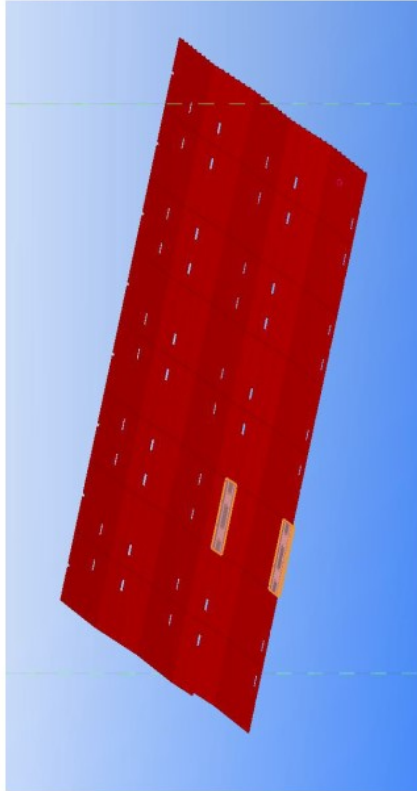
Paloluokka: R30
 Rasitusluokka: XC1
 Suunniteltu käyttöikä: 50 v
 Seuraamusluokka: CC2

Tuotetiedot

Toleranssiluokka: Normaali (Betonielementtien toleranssit 2011)
 Pintakäsittelyluokka: A (BY40)
 Pintakäsittely: MUO-A / THI-A
 Viisteet: 15x15 (näkyvissä nurkissa)
 Nosto-osat: Punossuunnittelijan mukaan

Kuormat

ripustukset $g_{k1} = 0,2 \text{ kN/m}^2$
 kattorakenteet $g_{k2} = 0,5 \text{ kN/m}^2$
 lumikuorma $q_{ks} = 2,0 \text{ kN/m}^2$
 perustuulikuorma $q_{kw} = 0,52 \text{ kN/m}^2$



MALLIOSAT

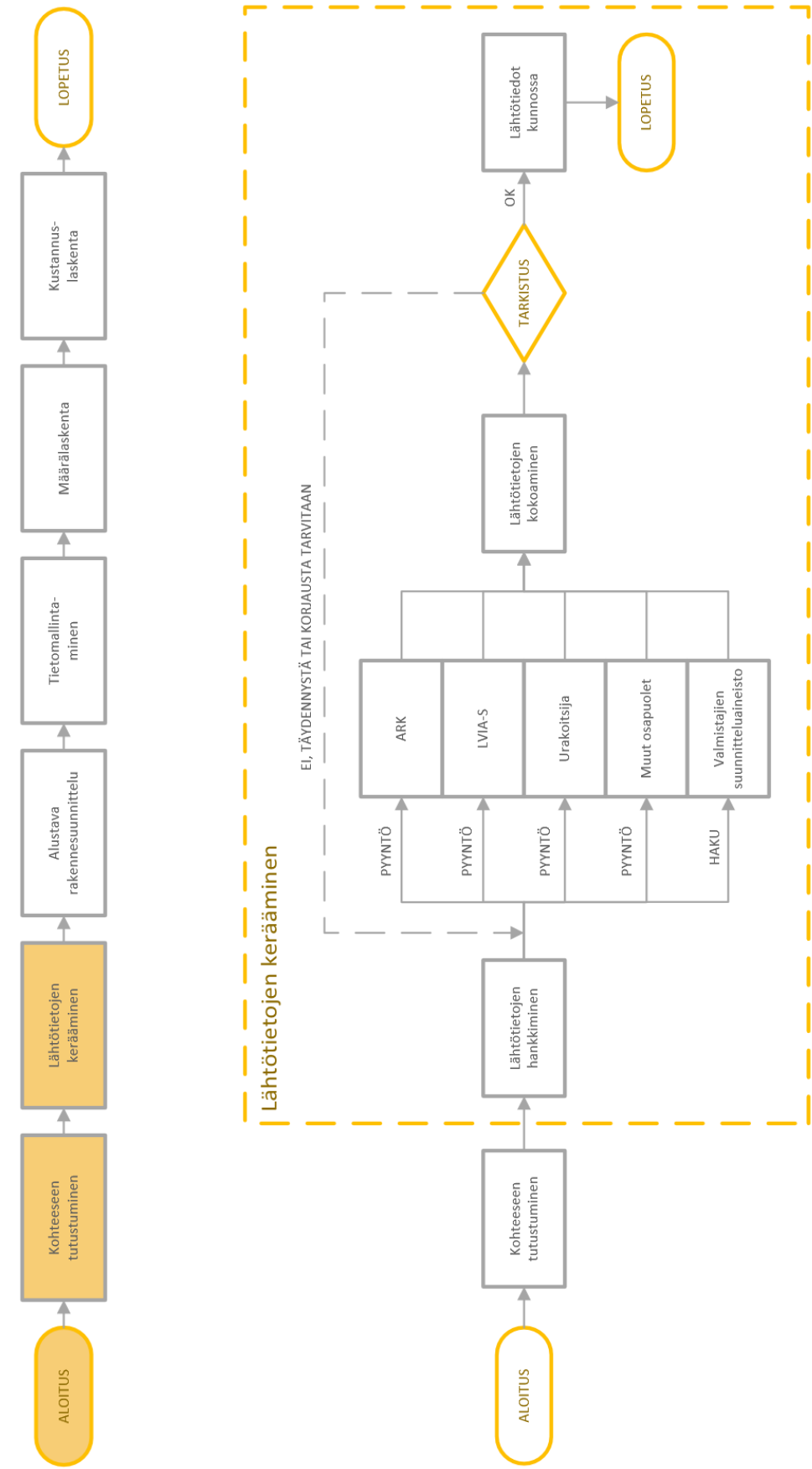
Kuvaus: TT-laatta
Sijainti: II-KK/8-
Tunnus: TT
Sarja: 1001

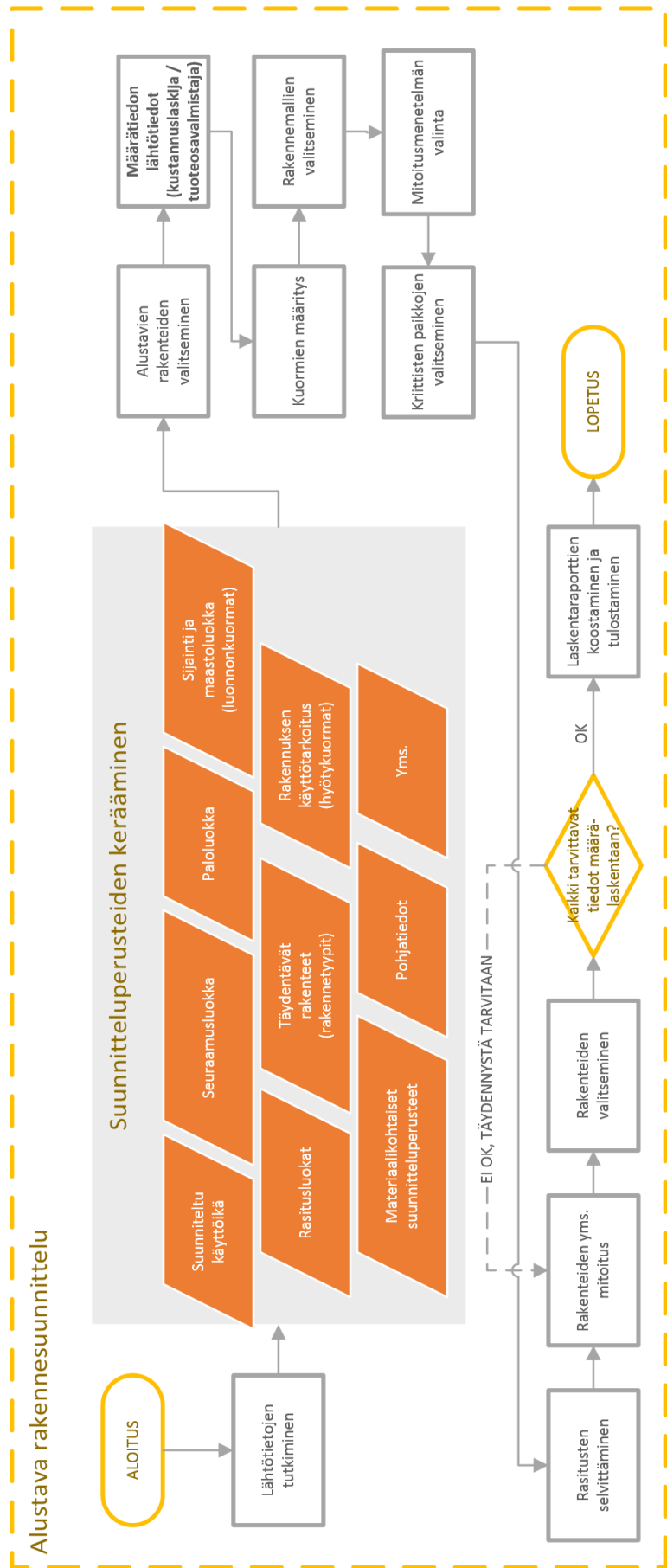
Lkm	Nimi	Profili	Materiaali	Pituus / mm	Leveys / mm	Paksuus / mm
1	TT-LAATTA	TT400*2990-120-50-1468-0.03-150-0.25	Concrete_Undefined	11 950	400	2 990
4	TR43	PL150*8	S355J2+N	145	45	150
8	TR39	PL150*6	S355J2+N	63	6	150
4	NEOPREENI	90*10	SHORE_60	180	10	90
2	AUKKO	1000*2000	REIKÄ	200	1 000	2 000

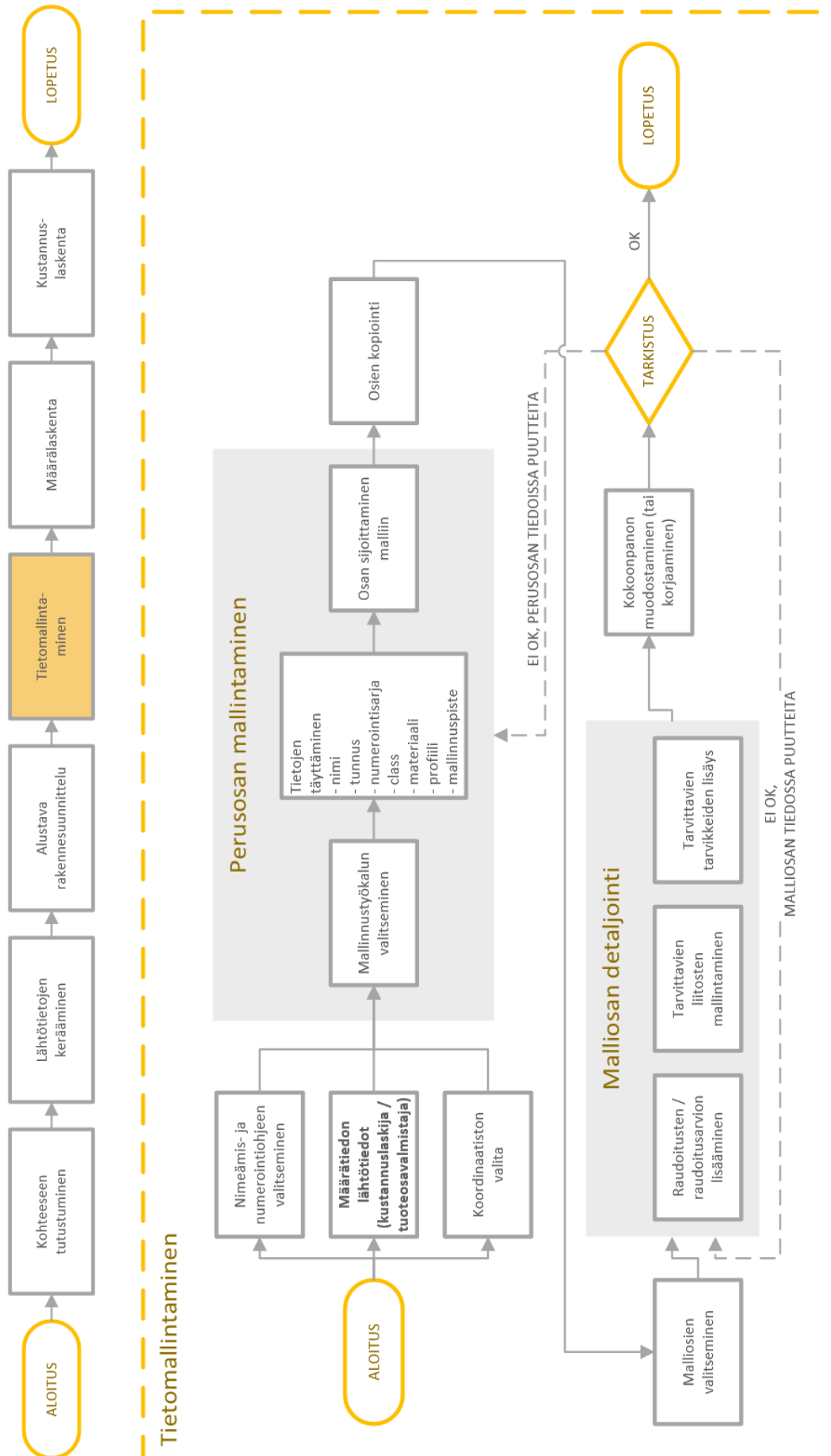
Kuvaus: TT-laatta
Sijainti: II-KK/11-
Tunnus: TT
Sarja: 2001

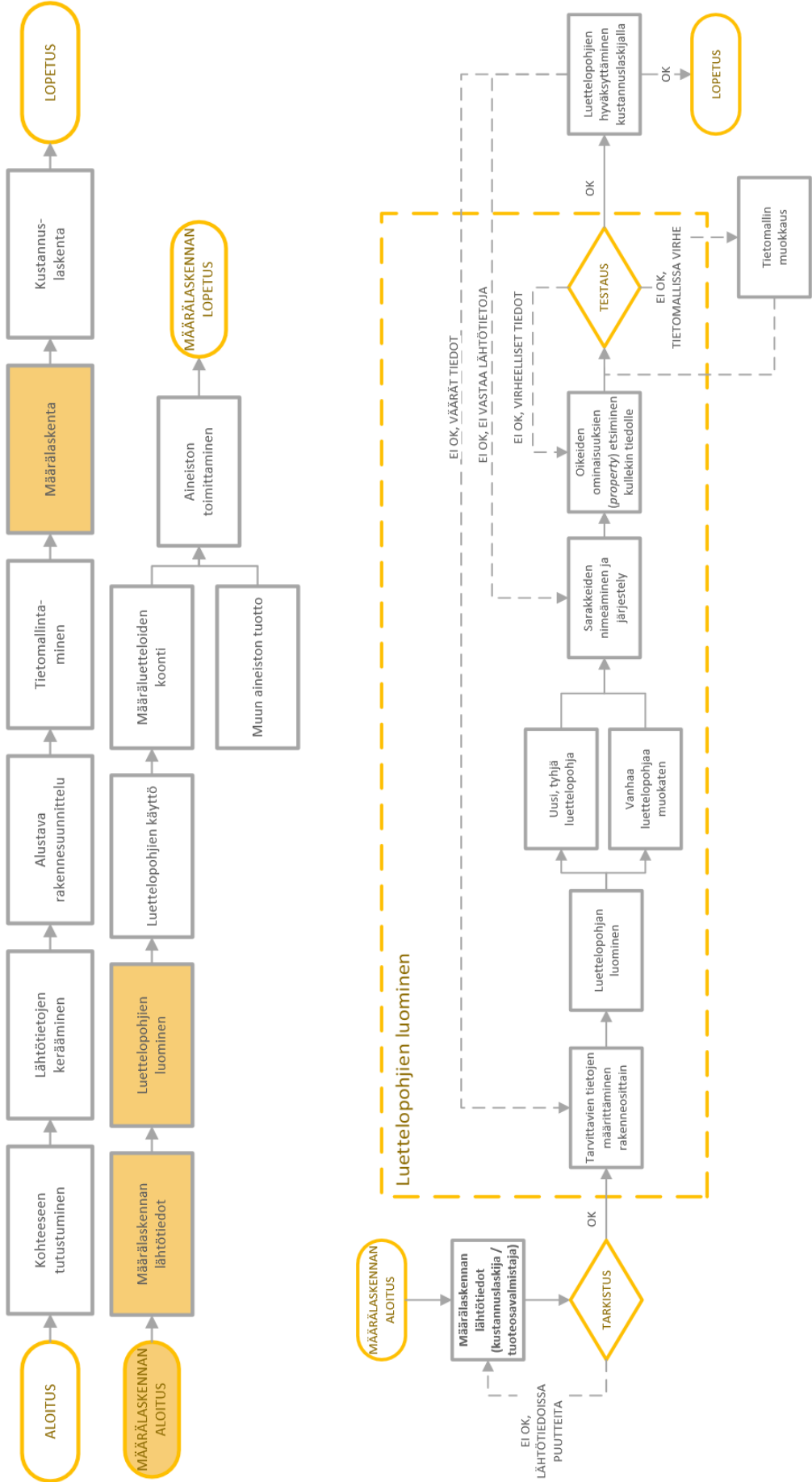
Lkm	Nimi	Profili	Materiaali	Pituus / mm	Leveys / mm	Paksuus / mm
1	TT-LAATTA	TT400*2990-120-50-1468-0.03-150-0.25	Concrete_Undefined	11 950	400	2 990
4	TR43	PL150*8	S355J2+N	145	45	150
4	TR39	PL150*6	S355J2+N	63	6	150
4	NEOPREENI	90*10	SHORE_60	180	10	90
1	KL100x300	PL15*100	S355J2+N	100	300	15
2	AUKKO	1000*2000	REIKÄ	200	1 000	2 000
1	AUKKO	630*580	REIKÄ	200	630	580

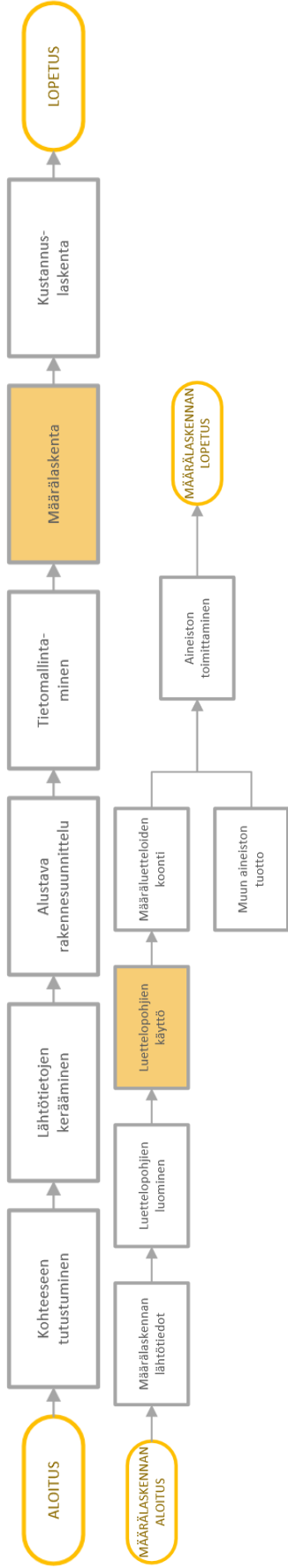
LIITE 12: Prosessikaaviot











Luettelopohjien käyttö

